
LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD
2 45 0173 4487

OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE

OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE

DIOPTRIQUE OCULAIRE — FONCTIONS DE LA RÉTINE — LES MOUVEMENTS OCULAIRES ET LA VISION BINOCULAIRE

LEÇONS PROFESSÉES A LA SORBONNE

PAR

LE Dr TSCHERNING

DIRECTEUR-ADJOINT DU LABORATOIRE D'OPHTALMOLOGIE



PARIS

MASSON ET Cie, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, Boulevard Saint-Germain

1898

ERRATA ET ADDEND

P. 6. Dans la légende de la figure 5, au lieu de *Réflexion sur un miroir concave*, lire ... *miroir convexe.*

P. 57. Après « *Cette augmentation n'est pas indiquée sur la figure* » ajouter « Le travail récent de *Gullstrand : Untersuchungen ueber die Hornhautrefraction, Stockholm, 1896*, confirme les résultats des mensurations de *Sulzer* et d'*Eriksen* ».

P. 157. A la 11e ligne, à partir du bas, remplacer la phrase « Il observa plusieurs malades... faisait disparaître ce phénomène », par « Il observa plusieurs malades chez lesquels il avait fait une paracentèse de sorte que l'iris et le cristallin se trouvèrent presque en contact avec la cornée. Lorsque le malade faisait un effort d'accommodation, le milieu de la cornée s'affaissait pour reprendre sa forme ancienne par le relâchement de l'accommodation. Il est pourtant à remarquer que le phénomène persista après instillation d'atropine ».

P. 171. Ligne 6. Après « pendant l'accommodation », ajouter : « Le Dr *Wanscher* a émis l'opinion que la descente du cristallin vers la fin de l'accommodation est due à l'influence de la pesanteur, opinion qui semble confirmée par les recherches récentes de *C. Hess*. Ce dernier auteur voit dans le phénomène une confirmation de l'hypothèse de *v. Helmholtz*, dont il est un partisan fervent. »

P. 172. Ligne 2. Après « élucidée » ajouter : « Chez les mammifères le mécanisme de l'accommodation semble le même que chez l'homme, tandis que l'appareil accommodateur des oiseaux en diffère considérablement. La manière de fonctionner de ce dernier n'est pas encore suffisamment élucidée. Chez les animaux aquatiques (poissons, céphalopodes), le cristallin est presque sphérique, disposition dont l'utilité n'est pas encore expliquée. Suivant les travaux récents de *Th. Beer* (Pflüger's Archiv., vol. 58), ces animaux sont myopes et possèdent une accommodation négative qui se fait par reculement du cristallin.

LEÇONS
D'OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE

LIVRE PREMIER
DIOPTRIQUE OCULAIRE

CHAPITRE PREMIER
NOTIONS D'OPTIQUE

1. Propriétés optiques des corps. — On distingue entre les *corps transparents*, à travers lesquels on peut voir les objets, les *corps translucides* comme le verre dépoli, à travers lesquels on perçoit la lumière, mais qui ne permettent pas de distinguer des formes, et les *corps opaques*. — Aucun corps n'est absolument transparent. De l'eau pure est transparente, mais une très grande épaisseur d'eau ne laisse pourtant passer que très peu de lumière. — Par contre, des feuilles très minces de substances opaques sont plus ou moins translucides, comme le savent tous ceux qui ont examiné des préparations microscopiques.

2. Propagation rectiligne de la lumière. — Dans un milieu homogène, la lumière se propage suivant des droites qu'on désigne sous le nom de *rayons lumineux*.

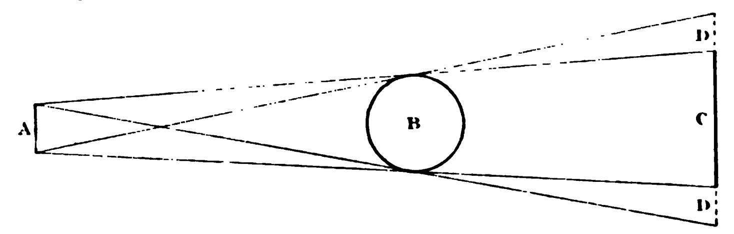


Fig. 1. — A, source lumineuse ; B, corps opaque ; C, ombre ; D, pénombre.

Ombres. — Lorsque les rayons émanant d'un point lumineux rencontrent un corps opaque, il se produit derrière celui-ci une ombre de forme conique. On peut construire cette ombre en traçant des droites

joignant les différents points des bords du corps au point lumineux. Si, au lieu d'un point, la source est une surface lumineuse, l'ombre est entourée d'une *pénombre*, dont l'intensité diminue de plus en plus vers la périphérie. Un observateur placé dans l'ombre C ne peut voir aucun point de la surface lumineuse ; placé dans la pénombre D, il voit une partie de cette surface d'autant plus grande qu'il se rapproche davantage du bord.

Images produites par une petite ouverture. — Des rayons pénétrant par une petite ouverture dans une chambre noire forment sur un écran une image renversée des objets extérieurs. En diminuant l'ouverture, on augmente la netteté de l'image, mais elle perd en même temps comme clarté. — On a exécuté des photographies de cette manière.

3. Réflexion et absorption. — Les rayons qui rencontrent la surface d'un objet opaque sont en partie *absorbés*, en partie *réfléchis*. Si la surface n'est pas polie, les rayons sont réfléchis d'une manière diffuse : chaque point de la surface renvoie de la lumière dans toutes les directions. C'est par l'intermédiaire de cette lumière réfléchie irrégulièrement que les objets sont visibles, et le fait qu'ils sont visibles, quelle que soit la position de l'observateur, pourvu que les rayons ne soient pas interceptés, prouve précisément qu'un point quelconque de la surface envoie de la lumière dans toutes les directions.

4. Réflexion régulière. — Plus une surface est polie, plus la réflexion diffuse diminue. Aussi la surface d'un miroir bien poli est-elle très peu visible. Les surfaces polies réfléchissent les rayons régulièrement, suivant une loi qui était déjà connue de l'antiquité : le rayon réfléchi se trouve dans le même plan que le rayon incident et que la normale au point d'incidence, et les deux rayons forment des angles égaux avec cette normale, ce qu'on exprime en disant que l'*angle d'incidence* et l'*angle de réflexion* sont égaux.

Cette réflexion a pour effet de former des *images* des objets extérieurs. L'image d'un point est l'endroit où les rayons émanés de ce point se rencontrent de nouveau après une réflexion ou une réfraction. Pour que l'image soit parfaite, il faut que tous les rayons (employés) se rencontrent de nouveau en un point. Le plus souvent, cette condition n'est pas entièrement remplie : il existe des *aberrations* plus ou moins prononcées. — On désigne sous le nom de points *conjugués* un point et l'image de ce point. — Une image est *réelle* lorsque les rayons provenant d'un point se rencontrent de nouveau en un point ; elle est *virtuelle* lorsque ce

ne sont pas les rayons mêmes, mais leurs prolongements, qui se rencontrent. — Une image réelle peut être reçue sur un écran ; une image virtuelle ne le peut pas, mais elle est visible pour un œil qui se trouve sur le parcours des rayons, parce que le système optique de l'œil en forme une image réelle sur la rétine, absolument comme si l'image virtuelle était un objet.

5. Miroirs plans. Construction de l'image. — On abaisse d'un point A (fig. 2) de l'objet une perpendiculaire AB sur la surface, DE, du miroir, et l'on marque sur son prolongement le point A', de sorte que AB = A'B. A' est l'image de A, car puisque AB = A'B, les deux angles α sont égaux, et par conséquent aussi les deux angles *i*, dont chacun est égal à 90° — α. L'image formée par un miroir plan est *virtuelle*, *droite* et de grandeur *égale à l'objet*.

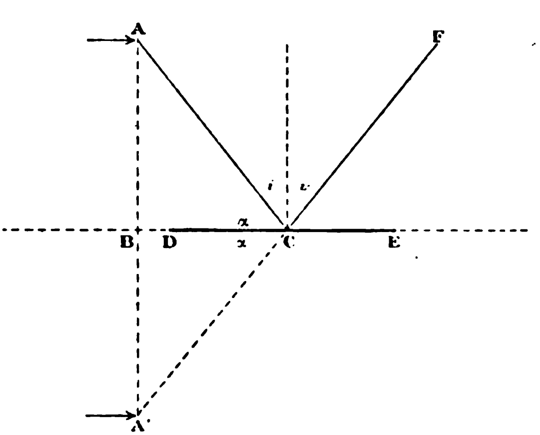


Fig. 2. — Réflexion sur un miroir plan. A, l'objet; A', son image; DE, le miroir; AC, rayon incident; CF, rayon réfléchi.

Pour voir si un miroir est bon, on place l'œil près de la surface, de manière à voir les images sous une incidence aussi grande que possible. Si le miroir n'est pas bon, les images des objets extérieurs sont déformées. On apprécie aussi très bien ces déformations en se plaçant à une grande distance devant le miroir et en observant les images des objets éloignés.

6. Miroirs sphériques concaves. — On nomme *sommet* le milieu de la calotte sphérique, *axe* la droite passant par le centre et le sommet, et *ouverture* la grandeur angulaire du miroir. Pour que les images soient bonnes, il faut que l'ouverture soit petite (8 à 9 degrés). Le *foyer principal* du miroir est l'endroit où se rencontrent, après réflexion, des rayons incidents parallèles à l'axe. La *distance focale principale* est la distance du foyer principal au miroir.

Dans tous les phénomènes d'optique la marche des rayons est réversible. — Si, dans la figure 2, le rayon AC est réfléchi suivant CF, un rayon incident suivant FC est réfléchi suivant CA. — Il s'ensuit que des rayons provenant du foyer principal du miroir concave doivent être parallèles après réflexion.

Le foyer principal d'un miroir plan se trouve à l'infini, puisque des rayons incidents parallèles sont encore parallèles après la réflexion.

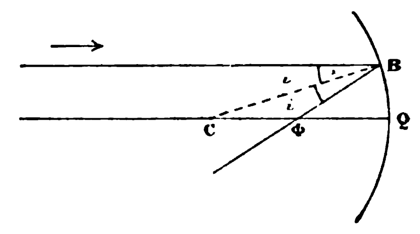


Fig. 3 — Réflexion sur un miroir concave. C, le centre ; Φ, le foyer.

Le foyer principal d'un miroir concave est situé à moitié de la distance entre le sommet et le centre.

On a en effet $i = i$ (fig. 3), puisque les angles d'incidence et de réflexion sont égaux, et $i =$ BC Φ, puisque le rayon incident est parallèle à l'axe. Il s'ensuit que C Φ = B Φ, mais comme l'ouverture est très petite, on peut mettre B Φ = Q Φ, donc C Φ = Q Φ = $\frac{R}{2}$, en désignant le rayon par R.

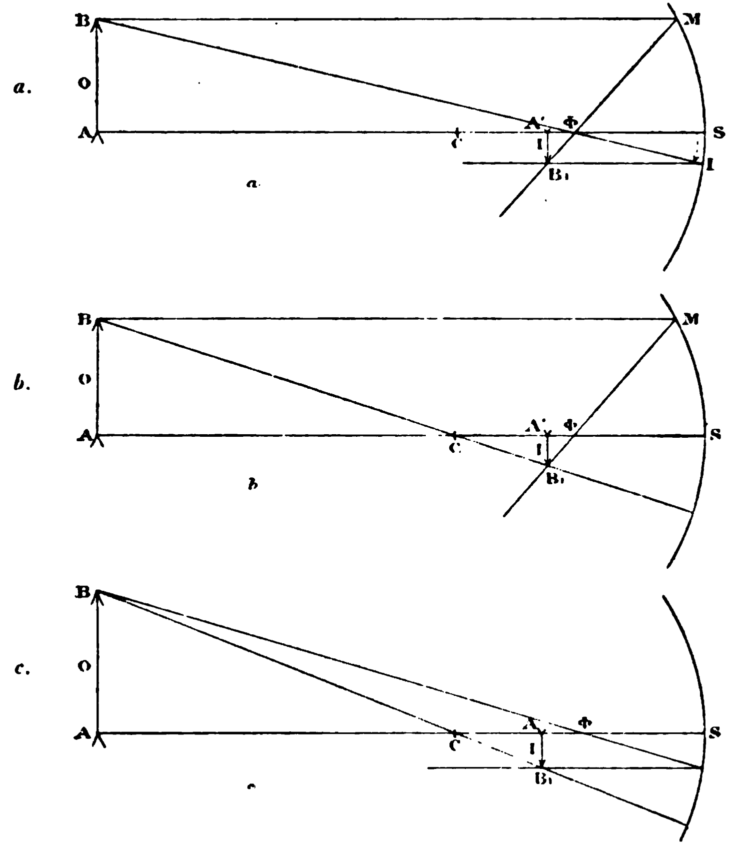


Fig. 4. — Réflexion sur un miroir concave. Constructions de l'image, I, d'un objet O ; C, le centre ; Φ, le foyer. AS = f_1, A'S = f_2, SΦ = F, AΦ = l_1, A'Φ = l_2.

Un rayon passant par le centre est normal à la surface ; il est par conséquent réfléchi sur lui-même.

Construction de l'image. — Pour trouver l'image B_1 d'un point B (fig. 4), il suffit de tracer la marche de deux rayons émanés de ce point ; l'image doit se trouver à l'endroit où ils s'entre-croisent après la réflexion. D'après ce que nous avons dit, nous connaissons déjà la marche de trois rayons provenant du point B :

1° Le rayon BM, qui est parallèle à l'axe, passe après la réflexion par le foyer Φ ;

2° Le rayon BΦ, qui passe par le foyer, est réfléchi parallèlement à l'axe, puisque la marche des rayons est réversible ;

3° Le rayon BC, passant par le centre, est réfléchi sur lui-même.

Deux de ces rayons suffisent pour la construction. En les combinant deux à deux, nous obtenons les trois constructions différentes que montre la figure 4.

Grandeur de l'image. Relations entre les distances des points conjugués. — Considérons la ligne BA = O (fig. 4*a*) comme objet, I est son image. En remarquant que SL = I et MS = O, les triangles ABΦ et SLΦ d'un côté, et les triangles SMΦ et A' B' Φ d'un autre côté, nous donnent les relations

$$\frac{O}{I} = \frac{l_1}{F} = \frac{F}{l_2} \text{ ou } l_1\, l_2 = FF \text{ (\textit{Newton})[1].}$$

La formule

$$\frac{O}{I} = \frac{l_1}{F} \text{ peut aussi s'écrire } \frac{O}{I} = \frac{2l_1}{R} :$$

c'est celle que nous emploierons plus tard pour l'ophtalmométrie. — Comme on a $l_1 = f_1 - F$ et $l_2 = f_2 - F$, la formule de *Newton*

$$l_1\, l_2 = FF$$

peut aussi s'écrire

$$\frac{F}{f_1} + \frac{F}{f_2} = 1 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}.$$

La première de ces deux formules est celle de *v. Helmholtz* ; comme

(1) Dans cette formule et dans celles qui suivront je désigne par :
O l'objet ;
I l'image ;
R_1 le rayon de la première surface ;
R_2 le rayon de la deuxième surface ;
F_1 la distance focale antérieure ;
F_2 la distance focale postérieure ;
f_1 la distance de l'objet à la surface ;
f_2 la distance de l'image à la surface ;
l_1 la distance de l'objet au foyer antérieur ;
l_2 la distance de l'image au foyer postérieur ;
Pour les miroirs et les lentilles entourées du même milieu des deux côtés, on a $F_1 = F_2 = F$

nous le verrons, elle est tout à fait générale. La deuxième est identique à celle des lentilles infiniment minces.

Par construction ou par la formule, on trouve que :

1° L'image d'un objet situé au delà du centre est située entre le centre et le foyer. Elle est *réelle, renversée* et *diminuée* ;

2° Comme la marche des rayons est réversible, un objet situé entre le centre et le foyer donne une image située au delà du centre, et cette image est *réelle, renversée* et *agrandie* ;

3° Un objet situé entre le foyer et le miroir forme son image derrière le miroir. Cette image est *virtuelle, droite* et *agrandie*.

7. Miroirs convexes. — Comme dans le cas des miroirs concaves, le foyer est situé à égale distance entre la surface et le centre. La construction (fig. 5) est la même que dans le cas précédent et les formules

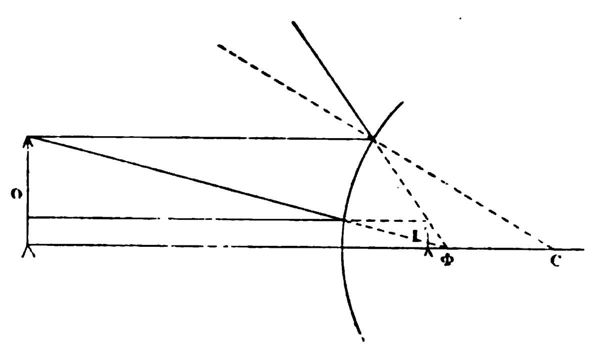


Fig. 5. — Réflexion sur un miroir concave. Construction de l'image. C, le centre ; Φ, le foyer.

aussi, mais les distances des points situés en arrière de la surface doivent être considérées comme négatives ; on a donc

$$\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} = -\frac{1}{F}.$$

L'image d'un objet réel est toujours *virtuelle, droite* et *diminuée* ; elle est située entre la surface et le foyer.

8. Remarques pratiques. — On peut examiner si un miroir est convexe, concave ou plan, en plaçant l'œil non loin de la surface. Un miroir convexe forme une image diminuée de l'œil, un miroir concave donne une image agrandie (en supposant que l'œil se trouve entre le foyer et le miroir). L'image formée par le miroir plan est égale à l'objet.

Pour déterminer la distance focale d'un miroir concave, on peut :

1° Former l'image d'un objet éloigné sur un écran : la distance du miroir à l'écran est égale à la distance focale ;

2° Placer l'écran à côté d'une flamme et chercher la distance du miroir qui fait paraître l'image nette. La distance du miroir à la flamme est le double de la distance focale, car puisque l'objet et l'image se trouvent, dans ce cas, à la même distance du miroir, cette distance est égale au rayon du miroir ou au double de sa distance focale.

On détermine *la distance focale d'un miroir convexe* en cherchant la position de l'écran où le reflet que forme le miroir d'une flamme éloignée a un diamètre égal au double du diamètre du miroir. La distance du miroir à l'écran est égale à la distance focale, comme le montre une simple construction géométrique. — Pour de tout petits miroirs, on emploie les procédés ophtalmométriques.

Les miroirs concaves font converger les rayons comme les lentilles convexes, tandis que les miroirs convexes les font diverger. Pour cette raison, on emploie des miroirs convexes comme ophtalmoscopes, lorsqu'il s'agit d'avoir un éclairage très faible.

Une combinaison d'un miroir plan avec une lentille convexe agit comme un miroir concave dont la distance focale serait égale à celle de la lentille ou à la moitié d'elle, suivant que la lumière traverse la lentille une ou deux fois (ophtalmoscope de *Coccius*). Une combinaison d'un miroir plan avec une lentille concave agit comme un miroir convexe.

Partie utilisée des miroirs. — Excepté dans le cas où l'on projette l'image sur un écran, ce n'est qu'une petite partie du miroir qui est utilisée.

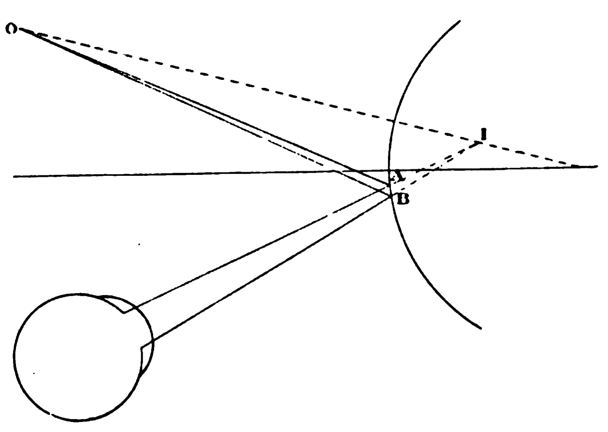


Fig. 6. — Construction de la partie utilisée AB d'un miroir.

On peut trouver cette partie en construisant l'image I (fig. 6) de l'objet O, et en joignant par des droites ses bords aux bords de la pupille de l'œil observateur. Ces droites découpent la partie utilisée du miroir AB. On pourrait aussi construire l'image de la pupille et joindre cette image à l'objet ; le résultat serait le même.

9. Réfraction. — Lorsqu'un rayon lumineux rencontre une surface polie séparant deux milieux transparents, il se divise en deux, un rayon *réfléchi* qui se propage en arrière dans le premier milieu et un rayon *réfracté* qui continue sa marche dans le second (fig. 7). Les trois rayons se trouvent dans un même plan qui contient aussi la normale au point d'incidence. L'angle de réflexion est, comme nous l'avons vu, égal à l'angle d'incidence, mais l'angle de réfraction (compris entre la normale et le rayon réfracté) en diffère. Sa grandeur est déterminée par la loi de *Descartes (Snellius)*. *Le rapport entre le sinus d'incidence et le sinus de réfraction est constant, quelle que soit l'incidence, tant que les deux milieux restent les mêmes* :

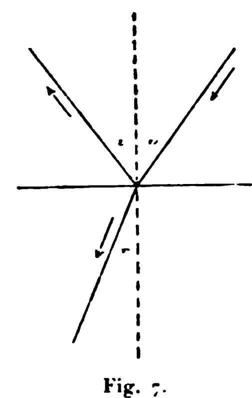


Fig. 7.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n.$$

Le chiffre n porte le nom d'*indice de réfraction* et, en général, on prend l'indice de l'air pour unité. L'indice de l'eau par rapport à l'air est $\frac{4}{3} = 1{,}333$, celui du verre par rapport à l'air est de $3/2 = 1{,}5$ environ. L'indice du verre par rapport à l'eau est alors $\frac{3/2}{4/3} = \frac{9}{8}$, etc. Dans les formules qui suivront n désigne l'indice du second milieu par rapport à celui du premier.

10. Quantité de lumière réfléchie. — Réflexion totale. — La quantité de lumière réfléchie régulièrement augmente avec l'*angle d'incidence*, avec la *différence d'indice entre les deux milieux* et enfin avec *le degré de poli de la surface*. Dans l'air une surface de verre bien polie réfléchit environ 4 p. 100 de la lumière incidente, si l'angle d'incidence est négligeable. De bons miroirs métalliques réfléchissent environ deux tiers de la lumière incidente.

La *réflexion totale* a lieu lorsque la lumière, se propageant dans un milieu plus dense, rencontre sous un grand angle d'incidence la surface qui sépare ce milieu d'un autre moins dense.

Soit AB (fig. 8) la surface séparant l'air de l'eau et O un point lumineux se trouvant dans l'eau. OD est un rayon qui, arrivé à la surface, se divise en deux, DE qui est réfracté et DF qui est réfléchi et bien plus faible ; les rayons suivants OG et OH se divisent également ; le rayon sortant est toujours de plus en plus réfracté et il perd de plus en plus de lumière, tandis que le rayon réfléchi gagne de l'intensité ; et lorsque l'angle d'incidence arrive à une certaine grandeur, le rayon sortant forme un angle de 90° avec la normale, il *rase* alors la surface. On désigne

comme *angle limite* l'angle d'incidence qui correspond à un angle de réfraction de 90°. Dans ce cas $\sin r = 1$; donc

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{\sin i}{1} = \sin i = n.$$

Dans notre cas $n = 3/4$, $\sin i = 0{,}75$ et l'angle limite est de 49° environ. *Si l'angle d'incidence dépasse l'angle limite, toute la lumière est réfléchie (réflexion totale)* (OK, fig. 8).

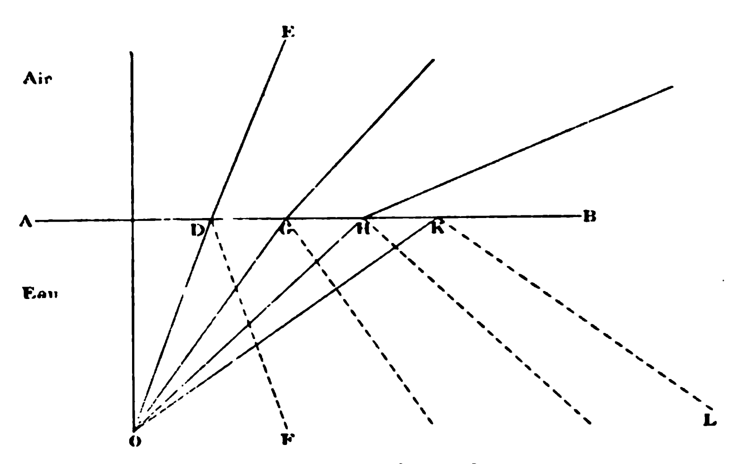
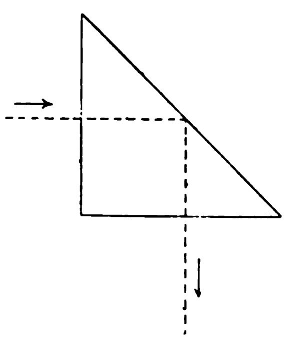


Fig. 8. — Réflexion totale.

Si l'on verse de l'eau dans un verre et qu'on essaye de regarder obliquement, d'en bas, vers le ciel, à travers la surface de l'eau, cette surface apparaît comme une surface métallique absolument opaque. Aucun rayon provenant du ciel n'arrive à l'œil, parce que tous sont déviés vers le fond du verre par la réfraction. Si l'on plonge un crayon dans l'eau, on le verra se miroiter dans la surface ; des rayons provenant du crayon arrivent à l'œil après une réflexion totale à la surface de l'eau.


Fig. 9. — Prisme à réflexion totale.

Comme cette forme de réflexion est la plus complète de toutes, on l'emploie souvent pour des expériences d'optique. Le plus commode est de se servir d'un prisme rectangulaire : en regardant perpendiculairement une des faces, on verra une image des objets placés en face de l'autre face, formée par réflexion totale sur l'hypothénuse (fig. 9). Le prisme n'a du reste pas besoin d'être rectangulaire, un prisme de 60° rend le même service ; mais il faut dans tous les cas que les trois faces soient polies.

11. Réfraction par des lames à surfaces planes et parallèles. — Le rayon incident et le rayon sortant sont parallèles, car on a $r = r$ (fig. 10), puisque les surfaces sont parallèles, et par conséquent aussi $i = i$. Le rayon sortant a subi un déplacement vers le côté d'où vient la lumière.

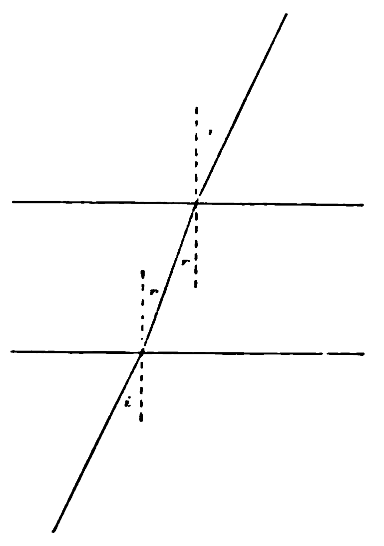


Fig. 10. — Réfraction par une lame à surfaces planes et parallèles.

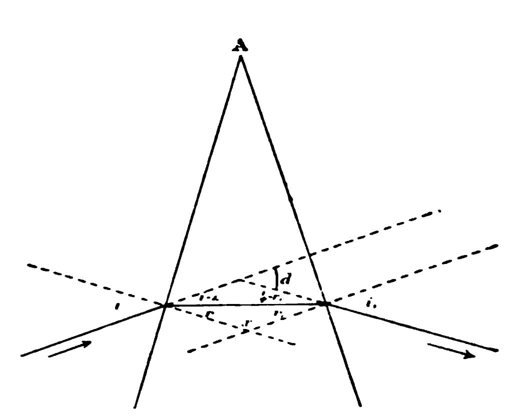


Fig. 11. — Réfraction par un prisme.

12. Réfraction par un prisme. — Vu à travers un prisme, un objet paraît déplacé vers l'arête du prisme. L'angle entre la direction suivant laquelle est vu l'objet et celle où il se trouve réellement porte le nom de *déviation*. Si i (fig. 11) est l'angle d'incidence, i_1 l'angle que forme le rayon sortant avec la normale, A l'angle du prisme et d la déviation, on a :

$$d = i + i_1 - A$$

car

$$d = i - r + i_1 - r_1$$

et

$$A = 180^\circ - x = r + r_1$$

donc

$$d = i + i_1 - A.$$

La déviation est *minima* lorsque $i = i_1$; la marche des rayons est alors symétrique, et on a :

$$A = 2r \text{ et } d = 2i - 2r = 2i - A.$$

Dans la formule

$$\sin i = n \sin r$$

on peut remplacer les sinus par les arcs, si ceux-ci sont petits ; donc

$$i = nr$$

et

$$d = 2nr - A$$
$$= (n - 1) A.$$

Si le prisme est en verre, on a $n = \frac{3}{2}$ environ, $n - 1 = \frac{1}{2}$. *Donc la déviation produite par un prisme faible est égale à la moitié de son angle.*

13. Réfraction par une surface sphérique. — Des rayons incidents parallèles à l'axe se réunissent au foyer postérieur Φ_2 (fig. 12). La

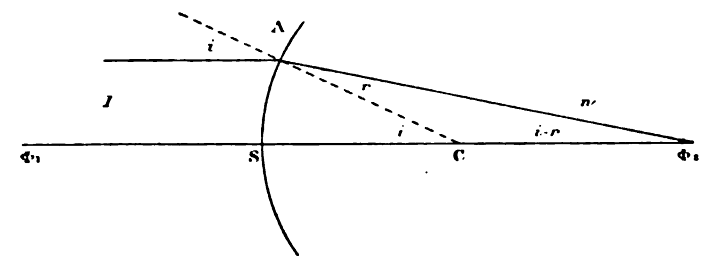


Fig. 12. — Réfraction par une surface sphérique. Φ_1, le foyer antérieur ; Φ_2, le foyer postérieur ; C, le centre.

distance $S\Phi_2$ est désignée comme la *distance focale postérieure* ; elle s'exprime par

$$F_2 = \frac{nR}{n-1}$$

car on a

$$\frac{C\Phi_2}{R} = \frac{\sin r}{\sin (i-r)}$$

ou, si les angles sont petits,

$$\frac{C\Phi_2}{R} = \frac{r}{i-r} = \frac{r}{nr-r} = \frac{1}{n-1}.$$

Donc

$$C\Phi_2 = \frac{R}{n-1}$$

et

$$S\Phi_2 = \frac{R}{n-1} + R = \frac{nR}{n-1}.$$

Après réfraction, les rayons provenant du foyer antérieur Φ_1 sont parallèles à l'axe. Sa distance $\Phi_1 S = F_1$ s'appelle la distance focale antérieure et s'exprime par

$$F_1 = \frac{R}{n-1};$$

on trouve en effet cette valeur par un calcul analogue à celui par lequel nous avons trouvé la distance focale postérieure.

On remarque que

$$F_2 = F_1 + R = nF_1$$

c'est-à-dire :

1° *La différence entre les distances focales est égale au rayon ;*

2° *Le rapport entre les distances focales est égal au rapport entre les indices des milieux correspondants ;*

3° Sur la figure 12 on a :

$$\Phi_1 S = \Phi_2 C = F_1$$
$$\Phi_2 S = \Phi_1 C = F_2$$

La distance du centre au foyer postérieur est égale à la distance focale antérieure et la distance du centre au foyer antérieur est égale à la distance focale postérieure.

Construction de l'image. — Pour construire l'image d'un point situé en dehors de l'axe, on peut tracer :

1° Un rayon passant par le centre : il n'est pas réfracté ;

2° Un rayon parallèle à l'axe : il est réfracté vers le foyer postérieur ;

3° Un rayon passant par le foyer antérieur : après réfraction, il est parallèle à l'axe.

Le point d'intersection de deux de ces droites est l'image. Il y a donc trois constructions possibles pour obtenir l'image de ce point.

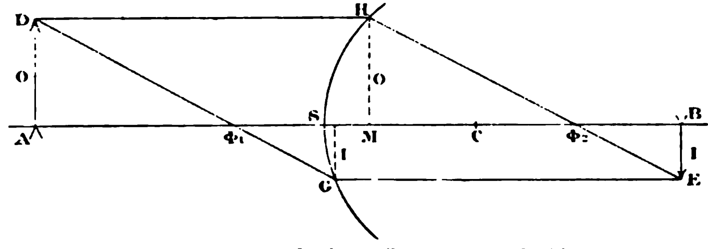


Fig. 13. — Réfraction par une surface sphérique. Construction de l'image. C, le centre ; Φ_1, le foyer antérieur ; Φ_2, le foyer postérieur ; O, l'objet ; I, l'image. $AS = f_1$, $BS = f_2$, $A\Phi_1 = l_1$, $B\Phi_2 = l_2$.

La figure 13 montre la construction au moyen des rayons 2° et 3°. Les triangles $DA\Phi_1$ et $\Phi_1 SG$ et les triangles $HM\Phi_2$ et $\Phi_2 BE$ étant semblables, nous avons la même relation que pour les miroirs

$$\frac{O}{I} = \frac{l_1}{F_1} = \frac{F_2}{l_2};$$

d'où l'on tire les deux formules générales

$$l_1 l_2 = F_1 F_2 \text{ et } \frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1.$$

L'image est *réelle* et *renversée* lorsque l'objet se trouve au delà du foyer antérieur ; elle est plus petite que l'objet si la distance de celui-ci à la surface est $> 2F_1$, plus grande si la distance est $< 2F_1$. Si l'objet se trouve entre le foyer et la surface, l'image est *virtuelle, droite* et *agrandie*, et elle se trouve derrière l'objet.

Si la surface est concave, le rayon est à considérer comme négatif. Les distances focales deviennent alors négatives : $F_1 = -\frac{R}{n-1}$, $F_2 = -\frac{nR}{n-1}$, ce qui indique que le foyer antérieur est situé en arrière, le foyer postérieur en avant de la surface.

Si, dans ce dernier cas, les rayons vont d'un milieu plus dense (à indice $= n$) dans un autre moins dense (à indice $= 1$), il faut dans les formules remplacer n par $\frac{1}{n}$. Les distances focales deviennent alors de nouveau positives : $F_1 = \frac{nR}{n-1}$, $F_2 = \frac{R}{n-1}$. C'est ce qui arrive avec les rayons qui, après avoir traversé la première surface d'une lentille biconvexe, rencontrent la deuxième.

Force d'une surface réfringente. — La force réfringente d'une surface s'exprime en dioptries par l'inverse de la distance focale antérieure mesurée en mètres :

$$D = \frac{1}{F_1} = \frac{n-1}{R}.$$

Si par exemple la distance focale antérieure est de 24 millimètres (surface antérieure de la cornée), la force réfringente est de $D = \frac{1}{0{,}024} = 42$ dioptries.

Réfraction par une surface de révolution de second degré. — Si le point lumineux se trouve sur l'axe, la réfraction en un point donné B (fig. 14)

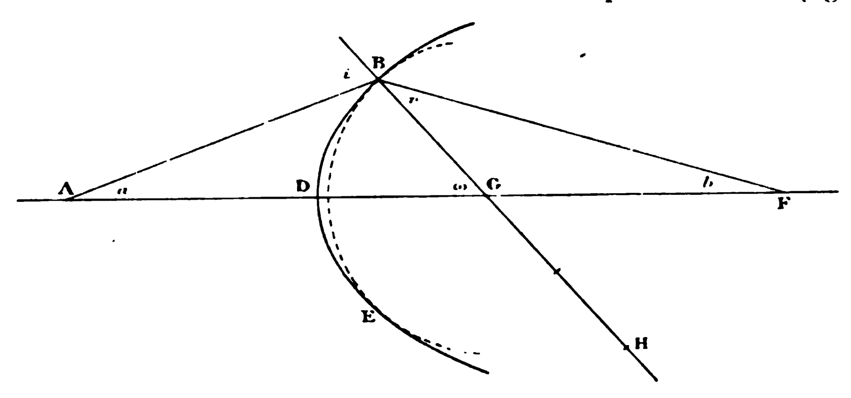


Fig. 14. — Réfraction par une surface parabolique. A, point lumineux ; F, son image ; BG, normale ; BH, rayon de courbure.

se fait comme si la surface était remplacée par une sphère tracée autour du point G, où la normale BG rencontre l'axe. En désignant la normale BG par N, la force réfringente de la surface au point B est donc

$$D = \frac{n-1}{N}.$$

On peut en effet calculer les distances focales, pour une surface de

révolution, absolument comme nous l'avons fait pour la sphère, et on trouve les mêmes expressions, en remplaçant R par N. Il est bien à remarquer que c'est la *normale* BC et non le rayon de courbure BH qui entre dans la formule. — Ces remarques ont de l'importance pour la théorie de l'accommodation et du kératocône.

14. Lentilles infiniment minces. — La théorie des lentilles est très simple si l'on peut en négliger l'épaisseur. On désigne comme *axe* la droite qui joint les deux centres des surfaces et comme *centre optique* le point où cet axe traverse la lentille. Ce point jouit de la propriété qu'*un rayon passant par lui traverse la lentille sans déviation*.

Distance focale d'une lentille biconvexe. — Désignons les rayons de courbure des deux surfaces par R_1 et R_2. Des rayons incidents parallèles qui rencontrent la première surface sont réfractés vers son foyer postérieur, dont la distance, comme nous l'avons vu, est égale à $\frac{nR}{n-1}$. Ce point agit maintenant comme objet pour la deuxième surface ; comme il se trouve derrière celle-ci, sa distance est à considérer comme négative. Dans la formule

$$\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$$

f_1 est donc égal à $-\frac{nR_1}{n-1}$. F_1 a la valeur de $\frac{nR_1}{n-1}$ et F_2 de $\frac{R_2}{n-1}$ (§ 13). On a donc

$$\frac{\frac{nR_1}{n-1}}{-\frac{nR_1}{n-1}} + \frac{\frac{R_2}{n-1}}{f_2} = 1$$

ou

$$-\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{(n-1)f_2} = 1$$

$$\frac{R_2}{(n-1)f_2} = 1 + \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\frac{1}{f_2} = (n-1)\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

La distance focale postérieure de la lentille se déduit donc de l'expression

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

La distance focale antérieure est égale à la distance focale postérieure, car il est clair qu'en retournant la lentille l'expression de $\frac{1}{F}$ reste la même ; il faudrait remplacer R_1 par R_2 et inversement, ce qui ne change pas l'expression.

Construction de l'image (fig. 15). — Pour construire l'image A' d'un point A, on peut tracer :

1° Le rayon AC passant par le centre optique : ce rayon n'est pas dévié ;

2° Le rayon AD parallèle à l'axe : après la réfraction, ce rayon passe par Φ_2 ;

3° Le rayon $A\Phi_1$ passant par le foyer antérieur : après réfraction, ce rayon est parallèle à l'axe.

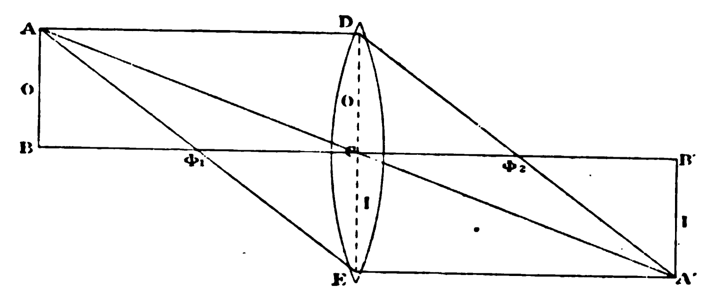


Fig. 15. — Construction de l'image formée par une lentille mince. BC = f_1, B'C = f_2, $C\Phi_1$ $C\Phi_2$ = F, $B\Phi_1 = l_1$, $B'\Phi_2 = l_2$.

Ces trois rayons s'entre-croisent au point A', mais deux suffisent pour trouver ce point.

Les triangles $AB\Phi_1$ et Φ_1 CE d'un côté, et les triangles $DC\Phi_2$ et Φ_2 B' A' d'un autre côté, nous donnent, comme pour les miroirs, les relations :

$$\frac{O}{I} = \frac{l_1}{F} = \frac{F}{l_2} \text{ ou } l_1 \, l_2 = F^2$$

lesquelles peuvent aussi s'écrire

$$\frac{F}{f_1} + \frac{F}{f_2} = 1 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}.$$

Par la formule ou par construction on trouve les relations suivantes entre l'objet et l'image :

1° Si l'objet se trouve au delà du foyer, l'image est *réelle* et *renversée*, elle se trouve de l'autre côté de la lentille. Elle est *agrandie* si la distance de l'objet à la lentille est plus petite que le double de la distance focale, *diminuée* dans le cas contraire. Si la distance de l'objet à la lentille est égale au double de la distance focale, l'objet et l'image sont de même grandeur.

2° Si l'objet se trouve entre le foyer et la lentille, l'image est *virtuelle droite* et *agrandie* ; elle se trouve du même côté de la lentille que l'objet, mais plus loin.

Si, après avoir placé une forte lentille sur une feuille imprimée, on

l'éloigne peu à peu de la feuille, en regardant à quelque distance on verra d'abord une image droite, qui est virtuelle et située derrière la lentille et qui augmente de grandeur plus on éloigne celle-ci, jusqu'à ce que la feuille se trouve au foyer ; en ce moment, l'image disparaît (elle devient si grande, qu'un seul point remplit tout le champ de la lentille). En éloignant encore la lentille, on voit une image renversée située entre la lentille et l'œil ; elle est agrandie d'abord, mais diminue rapidement à mesure qu'on éloigne la lentille.

Lentilles concaves. — Tandis que les lentilles biconvexes et les lentilles plan convexes, qui agissent de la même manière, font converger les rayons incidents, les lentilles concaves les font diverger. La formule de la distance focale reste la même, mais comme les surfaces sont concaves, il faut considérer les rayons comme négatifs :

$$\frac{1}{F} = (n - 1)\left(\frac{1}{-R_1} + \frac{1}{-R_2}\right).$$

La distance focale est donc également négative, ce qui veut dire que le foyer se trouve du côté d'où viennent les rayons. Des rayons incidents parallèles continuent leur chemin comme s'ils venaient du foyer situé du même côté que l'objet.

La construction de l'image est analogue à celle que nous avons employée pour des lentilles biconvexes. Elle nous donne les mêmes relations qu'avant, avec les changements nécessaires des signes :

$$\frac{I}{O} = \frac{l_1}{-F} = \frac{-F}{l_2} \quad \text{et} \quad \frac{1}{f_1} + \frac{1}{-f_2} = \frac{1}{-F}.$$

Tant que l'objet est réel, l'image est *virtuelle*, *droite* et *diminuée*. Elle est au foyer lorsque l'objet est à l'infini. A mesure que celui-ci se rapproche de la lentille, l'image fait de même (1).

Ménisques. — On désigne sous le nom de ménisques les lentilles dont l'une des surfaces est convexe et l'autre concave. Suivant que le rayon de la surface convexe ou celui de la surface concave est plus petit, le ménisque est convergent ou divergent (positif ou négatif). Les ménisques positifs sont plus épais au milieu, les ménisques négatifs sont plus épais vers les bords. — Ces règles ne sont pourtant valables que tant que l'épaisseur est négligeable, ce qui souvent n'a pas lieu.

Méthodes pour mesurer la distance focale d'une lentille. — La méthode employée le plus souvent par les oculistes consiste à regarder les objets

(1) En général, l'objet et l'image se meuvent dans le même sens dans tous les cas de réfraction, en sens contraire dans les cas de réflexion.

extérieurs à travers la lentille, en faisant subir à celle-ci des petits déplacements. On voit alors les objets extérieurs se déplacer dans le même sens que la lentille si celle-ci est concave, dans le sens contraire si elle est convexe. En effet, si l'œil se trouve en face du milieu de la lentille, les rayons lui arrivent sans aucune déviation; mais, placé devant une partie périphérique du verre, il reçoit des rayons déviés à cause de l'effet prismatique du verre, et cet effet est d'autant plus grand que la partie à travers laquelle l'œil regarde est périphérique (fig. 16). — Pour déterminer la distance focale d'une lentille, on cherche dans la boîte d'essai le verre qui la neutralise (1).

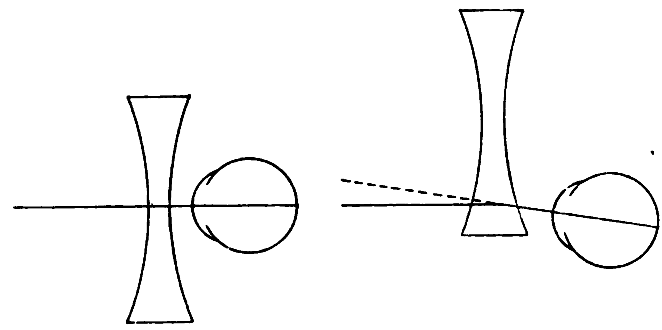


Fig. 16.

Mais il est à remarquer que la numérotation des verres des boîtes d'essai n'est souvent pas très exacte. — Les verres ont la même courbure des deux côtés ; on a donc $\frac{1}{F} = \frac{2(n-1)}{R}$; l'indice du verre est approximativement $n = 1{,}5$, ce qui fait que la distance focale et le rayon sont à peu près de même grandeur $\left(\frac{1}{F} = \frac{2(1{,}5-1)}{R} = \frac{1}{R}\right)$. — On avait pendant longtemps l'habitude de numéroter les verres d'après leur rayon de courbure, mais comme l'indice est en général un peu plus grand que 1,5, il en résultait que les verres forts avaient une distance focale un peu plus petite que le chiffre qu'ils portaient.

Ensuite, on introduisit la numérotation en dioptries ; pour ne pas avoir besoin de changer les bassins dans lesquels on taille les verres, les fabricants inscrivaient simplement les numéros en dioptries sur ceux des anciens verres qui s'en rapprochaient le plus. Ce n'est que depuis quelque temps qu'on s'est décidé à fabriquer des verres exacts d'après la série dioptrique.

Pour toutes ces raisons, il peut être utile à l'oculiste de pouvoir déterminer la distance focale directement. Pour les lentilles convexes on n'a

(1) On peut aussi avec avantage se servir du sphéromètre américain, un petit instrument avec lequel on mesure le rayon de courbure, et par cela, indirectement, la force réfringente du verre.

besoin que de former l'image d'un objet éloigné sur un écran. La distance de la lentille à l'écran est la distance focale. — Pour les lentilles concaves, on place une flamme à grande distance, de façon qu'elle forme son image virtuelle au foyer de la lentille ; on place ensuite derrière celle-ci un écran et on cherche la position à lui donner pour que le cercle lumineux formé par le verre ait un diamètre égal au double de celui de la lentille. La distance de celle-ci à l'écran est alors égale à la distance focale.

On peut déterminer les rayons de courbure au moyen des images de réflexion, suivant les formules que nous avons données pour les miroirs. Connaissant les rayons et la distance focale, on peut calculer l'indice d'après la formule $\frac{1}{F} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$.

Force réfringente d'une lentille. — On exprime la force réfringente (D) d'une lentille *en dioptries* par l'inverse de la distance focale, mesurée en mètres :

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) = \frac{n-1}{R_1} + \frac{n-1}{R_2}.$$

On conçoit mieux la signification de cette expression si on se rappelle que nous avons exprimé la force réfringente d'une surface par l'inverse de sa distance focale antérieure, $\frac{n-1}{R}$. La force réfringente d'une lentille infiniment mince est donc simplement la somme des forces réfringentes de ses deux surfaces.

La force réfringente d'un système optique composé de plusieurs lentilles infiniment minces, placées très près les unes des autres, est égale à la somme des forces des lentilles.

15. Théorie de Gauss. — Si les lentilles ne sont pas assez minces pour qu'on puisse négliger leurs épaisseurs, ni placées assez près les unes des autres pour qu'on puisse négliger leurs distances, on peut trouver la position et la grandeur de l'image par construction ou par calcul, d'après les règles que nous avons données pour la réfraction par des surfaces sphériques : on construit ou on calcule d'abord l'image formée par la première surface ; cette image sert ensuite comme objet pour la seconde surface et ainsi de suite. Mais il est bien plus simple de se servir de la théorie de *Gauss*. Nous allons brièvement exposer les points essentiels de cette théorie, qui s'applique à tout système optique composé de surfaces sphériques, en supposant que le système soit centré, c'est-à-dire que tous les centres des surfaces se trouvent sur l'axe et que l'ouverture des surfaces soit petite.

D'après la théorie de Gauss, tout système optique possède six points cardinaux, à savoir :

Deux points principaux, h_1, h_2 (fig. 17) ;

Deux points nodaux, K_1, K_2 ;

Un foyer antérieur Φ_1 ;

Un foyer postérieur Φ_2.

La *distance focale antérieure*, $F_1 = \Phi_1 h_1$, est la distance du foyer antérieur au premier point principal ; elle est égale à la distance du deuxième point nodal au foyer postérieur, $K_2 \Phi_2$.

La *distance focale postérieure*, $F_2 = h_2 \Phi_2$, est la distance du second point principal au foyer postérieur ; elle est égale à la distance du foyer antérieur au premier point nodal, $\Phi_1 K_1$.

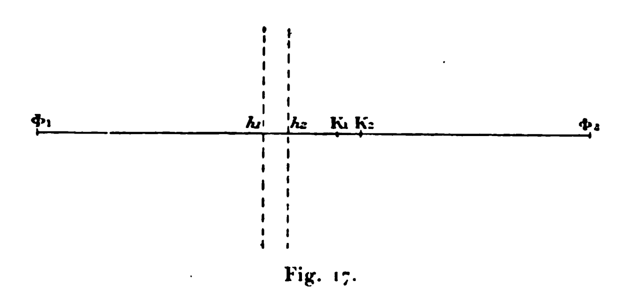


Fig. 17.

Il en résulte que la distance du premier point principal au premier point nodal est égale à la distance du second point principal au second point nodal et à la différence entre les distances focales $F_2 - F_1$. — La distance séparant les deux points principaux est égale à la distance séparant les deux points nodaux.

Le rapport entre les distances focales est égal au rapport entre les indices des milieux extrêmes $\frac{F_2}{F_1} = n$.

On nomme *plans principaux* deux plans perpendiculaires sur l'axe et passant par les deux points principaux. L'image d'un objet situé dans le premier plan principal vient se former dans le second plan principal et inversement. Elle est de grandeur égale à l'objet et sa direction est la même que celle de l'objet.

Un rayon qui, dans le premier milieu, passe par le premier point nodal passe, après réfraction, par le deuxième point nodal, et les directions du rayon avant et après la réfraction sont parallèles.

Connaissant la position des points cardinaux, on peut trouver l'image d'un objet donné par construction ou par calcul, d'une manière analogue à celle que nous avons déjà employée pour des lentilles infiniment minces. Pour trouver l'image du point G (fig. 18) par construction, on peut choisir deux des trois rayons suivants :

1° Le rayon GA, qui est parallèle à l'axe, doit couper le deuxième plan principal en D, à une distance de l'axe égale à Ah_1, et il doit passer par Φ_2. Sa direction est donc DH.

2° Le rayon GB, qui passe par le foyer antérieur Φ_1, doit après réfraction être parallèle à l'axe : il prendra donc la direction EH.

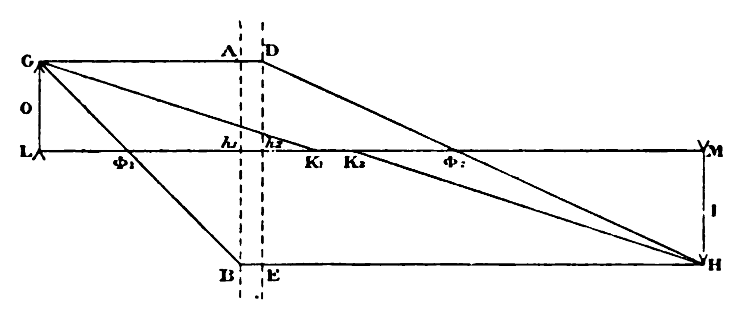


Fig. 18. — Construction de l'image I de l'objet O. $L\Phi_1 = l_1$, $\Phi_1 h_1 = F_1$, $Lh_1 = f_1$; $M\Phi_2 = l_2$, $\Phi_2 h_2 = F_2$, $Mh_2 = f_2$.

3° Le rayon GK_1, dirigé vers le premier point nodal, prend après réfraction la direction K_2H, parallèle à sa première direction.

Les triangles $GL\Phi_1$ et $Bh_1\Phi_1$ d'un côté et les triangles $Dh_2\Phi_2$ et $HM\Phi_2$ d'un autre côté nous donnent la relation

$$\frac{O}{I} = \frac{l_1}{F_1} = \frac{F_2}{l_2}.$$

On a donc comme avant $l_1 l_2 = F_1 F_2$, et on peut en déduire l'autre formule générale $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$. — Il est à remarquer que f_1 se compte comme F_1 du premier point principal, f_2 au contraire du deuxième point principal.

Méthodes pour trouver les points cardinaux d'un système donné. — *a.* Construction (fig. 19). — On trace un rayon incident parallèle à l'axe et l'on construit sa marche d'après la *loi de Descartes* ou suivant les formules que nous avons données pour la réfraction par des surfaces sphériques. On trouve ainsi le foyer postérieur. On prolonge ensuite le rayon incident et le rayon sortant ; leur point d'intersection est situé dans le deuxième plan principal, et la perpendiculaire abaissée de ce point sur l'axe marque le deuxième point principal h_2. En répétant la même construction avec un rayon parallèle à l'axe, provenant de l'autre côté, on trouve de la même manière le foyer antérieur et le premier point principal. — Connaissant ces quatre points, on peut en déduire la position des points nodaux, puisque la distance du premier point nodal au foyer antérieur est égale à la distance du second point principal au foyer postérieur, etc.

b. Calcul. — Désignons par A et par B les deux systèmes optiques que nous voulons combiner, leurs distances focales par F'_1 et F'_2 (pour le système A) et par F''_1 et F''_2 (pour le système B), et la distance du premier point principal du système B, en arrière du second point

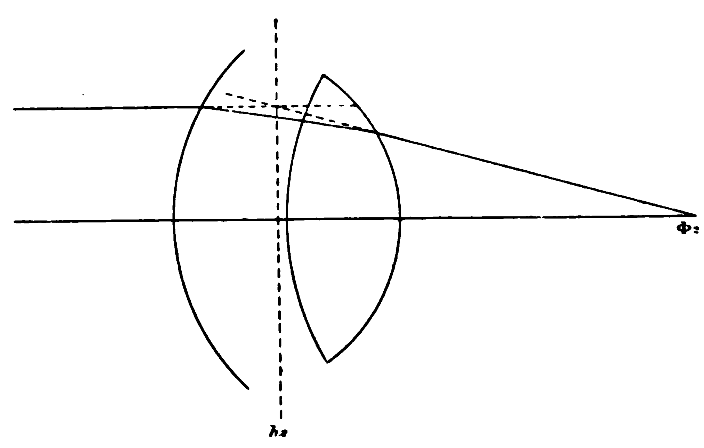


Fig. 19. — Construction pour trouver le deuxième plan principal.

principal du système A, par *d*. On peut alors trouver les points cardinaux du système combiné au moyen des formules suivantes, dans lesquelles h_1 indique la distance du premier point principal du système combiné, *en arrière* du premier point principal du système A, et h_2 la distance du second point principal du système combiné, *en avant* du second point principal du système B.

$$h_1 = \frac{dF'_1}{F''_1 + F'_2 - d}, \qquad F_1 = \frac{F'_1 F''_1}{F''_1 + F'_2 - d}.$$

$$h_2 = \frac{dF''_2}{F''_1 + F'_2 - d}, \qquad F_2 = \frac{F'_2 F''_2}{F''_1 + F'_2 - d}.$$

Cas spéciaux. — Comme les distances focales sont proportionnelles aux indices des milieux extrêmes, elles doivent être égales si le premier et le dernier milieu sont identiques, ce qui a lieu pour presque tous les instruments d'optique. Dans ce cas, la distance du foyer antérieur au premier point principal est égale à sa distance au premier point nodal, c'est-à-dire que le premier point principal coïncide avec le premier point nodal et le deuxième point principal avec le deuxième point nodal.

C'est ce qui a lieu pour les lentilles épaisses, cas dans lequel on peut trouver les points nodaux par une construction simple. Soient en effet C_1 (fig. 20) le centre de la première surface, C_2 celui de la seconde, C_2A un rayon quelconque de la seconde surface, C_1B un rayon de la première surface parallèle à C_2A. Traçons la droite AB qui représente la marche

d'un rayon dans l'intérieur de la lentille ; DB et AE indiquent sa direction en dehors de la lentille. Il est facile de voir que ces deux droites sont parallèles ; les angles i sont en effet égaux puisque les angles r le sont. En les prolongeant, elles coupent l'axe aux deux points K_1 et K_2, qui sont les deux points nodaux. Le point O est le centre optique de la lentille. Il est l'image de K_1 par rapport à la première surface et celle de K_2 par rapport à la deuxième surface.

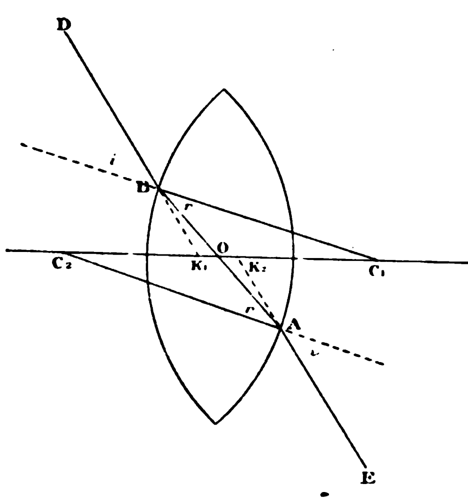


Fig. 20. — Construction pour trouver les points nodaux d'une lentille épaisse.

Dans une *lentille infiniment mince* les points nodaux et les points principaux coïncident tous avec le centre optique. Si tout le système est représenté par *une simple surface réfringente*, les points principaux coïncident tous les deux avec la surface et les points nodaux avec le centre.

Les *miroirs* peuvent être considérés comme des systèmes dioptriques dans lesquels le dernier milieu a un indice égal à celui du premier milieu, mais avec le signe contraire (puisque les rayons reviennent en sens contraire). Les deux points principaux coïncident avec la surface, les points nodaux avec le centre, et le foyer se trouve à égale distance entre les deux (puisque $F_1 = - F_2$). Les systèmes réfléchissants composés n'ont également qu'un point principal et un point nodal, et le foyer est situé à égale distance entre eux. Tel est, par exemple, le cas des systèmes composés qui donnent naissance aux images de *Purkinje* dans l'œil.

Exemple 1. — *Trouver les points cardinaux du cristallin.*

Admettons que le cristallin ait une épaisseur de 4 millimètres, que le rayon de la surface antérieure soit de 10 millimètres et celui de la surface postérieure de 6 millimètres. Prenons 1,33 pour indice de l'humeur aqueuse et du corps vitré, et admettons que l'indice du cristallin par rapport à ces liquides soit de 1,06 environ.

Dans ce cas chacun des systèmes A et B est représenté par une seule surface réfringente. Les distances focales du système A sont :

$$F'_1 = \frac{R_1}{n-1} = \frac{10}{0{,}06} = 167^{mm}$$

$$F'_2 = \frac{R_1 n}{n-1} = \frac{10.1{,}06}{0{,}06} = 177^{mm}$$

celles du système B sont :

$$F''_1 = \frac{R_2}{n - 1} = \frac{-6.}{\frac{1}{1{,}06} - 1} = \frac{6.1{,}06}{0{,}06} = 106^{mm}$$

$$F''_2 = \frac{n. R_2}{n - 1} = \frac{-6.\frac{1}{1{,}06}}{\frac{1}{1{,}06} - 1} = \frac{6}{0{,}06} = 100^{mm}$$

La distance d est égale à 4 millimètres.

Nous avons donc :

$$h_1 = \frac{d. F'_1}{F''_1 + F'_2 - d} = \frac{4.167}{279} = 2^{mm},4.$$

$$h_2 = \frac{d. F''_2}{F''_1 + F'_2 - d} = \frac{4.100}{279} = 1^{mm},4.$$

$$F_1 = \frac{F'_1\, F''_1}{F''_1 + F'_2 - d} = \frac{167.106}{279} = 63^{mm},4.$$

$$F_2 = \frac{F'_2\, F''_2}{F''_1 + F'_2 - d} = \frac{177.100}{279} = 63^{mm},4.$$

Les deux distances focales sont égales, comme elles doivent l'être puisque les milieux environnants sont semblables. La force réfringente du cristallin serait avec ces données $\frac{1}{63^{mm},4} = 15{,}8$ D.

Exemple 2. — Considérons la cornée comme une simple surface réfringente au rayon de 8 millimètres, entourée en avant par l'air ($n = 1$), en arrière par l'humeur aqueuse $\left(n = 1{,}33 = \frac{4}{3}\right)$. La distance de la surface antérieure de la cornée à la surface antérieure du cristallin est de 3,6 millimètres. *Combiner la cornée avec le cristallin dont nous venons de trouver les points cardinaux.*

Ici la cornée forme le système A. Ses distances focales sont :

$$F'_1 = \frac{R}{n - 1} = 24^{mm}$$

$$F'_2 = \frac{Rn}{n - 1} = 32^{mm}.$$

Les points principaux coïncident avec la surface. Les distances focales du système B sont celles trouvées ci-dessus pour le cristallin.

La distance d est la distance du premier point principal du cristallin à la cornée :

$$d = 3^{mm},6 + 2^{mm},4 = 6^{mm}.$$

Avec ces données nous trouvons, pour tout le système optique de l'œil :

$$h_1 = \frac{6.24}{63,4 + 32 - 6} = 1^{mm},6$$

$$h_2 = \frac{6.63,4}{63,4 + 32 - 6} = 4^{mm},3$$

$$F_1 = \frac{24.63,4}{63,4 + 32 - 6} = 17^{mm},0$$

$$F_2 = \frac{32.63,4}{63,4 + 32 - 6} = 22^{mm},7$$

Le tableau suivant donne un aperçu d'un tel système optique. Par *position* d'un point nous désignons la distance de ce point au sommet de la cornée :

Œil simplifié.

Indice de l'humeur aqueuse et du corps vitré	1,33
— du cristallin	1,41
Rayon de courbure de la cornée	8^{mm}
— — de la surface antérieure du cristallin	10^{mm}
— — de la surface postérieure du cristallin	6^{mm}
Profondeur de la chambre antérieure	$3^{mm},6$
Épaisseur du cristallin	4^{mm}
Distance focale antérieure de la cornée	24^{mm}
— — postérieure de la cornée	32^{mm}
— — du cristallin	$63^{mm},4$
Position du point principal antérieur du cristallin	$6^{mm},0$
— — — postérieur du cristallin	$6^{mm},2$
Distance focale antérieure de l'œil	$17^{mm},0$
— — postérieure de l'œil	$22^{mm},7$
Position du point principal antérieur de l'œil	$1^{mm},6$
— — principal postérieur de l'œil	$1^{mm},9$
— — nodal antérieur de l'œil	$7^{mm},3$
— — nodal postérieur de l'œil	$7^{mm},6$
— du foyer antérieur de l'œil	$-15^{mm},4$
— du foyer postérieur de l'œil	$24^{mm},6$
Force réfringente de la cornée	42 D.
— — du cristallin	16 D.
— — de l'œil	59 D.

On verra dans le chapitre suivant que les données avec lesquelles nous avons fait ces calculs ne sont pas rigoureusement exactes. Néanmoins, elles donnent une approximation assez grande, le plus souvent suffisante pour notre usage. Aussi, dans la suite, aurai-je plus d'une fois recours à ce système que je désigne sous le nom de l'*œil simplifié*, pour le distinguer du système optique complet dont il sera question dans le chapitre suivant.

Bibliographie. — Développement complet du système de *Gauss* dans l'introduction de l'optique physiologique de *v. Helmholtz.*

Parmi les nombreux traités d'optique géométrique, je citerai :

Jamin et Bouty. *Cours de physique de l'Ecole Polytechnique*, 1886. — Pouillet-Müller. *Lehrbuch der Physik und Meteorologie*, 8e édition. Braunschweig, 1872. D'une lecture facile. — Wüllner (Ad.). *Lehrbuch der Experimentalphysik*. II. Leipzig, 1877. — Lorenz (L.). *Die Lehre vom Licht*. Leipzig, 1877.

Parmi les ouvrages plus complets, mais d'une lecture plus difficile, sont à citer :

Verdet (E.). *Œuvres*. Paris, 1872. — Herschel (Sir I.-F.-W.). *Light*. London, 1845. En français par Verhulst (P.-F.) et Quetelet (A.). Paris, 1829. — Heath (R.-S.). *A treatise on geometrical optics*. Cambridge, 1887. — Gariel (C.-H.). *Etudes d'optique géométrique*. Paris, 1889.

CHAPITRE II

LE SYSTÈME OPTIQUE DE L'ŒIL

16. Constantes optiques de l'œil. — Au moyen de la théorie de *Gauss* on peut calculer les points cardinaux de n'importe quel système optique, si l'on connaît la position et la courbure des surfaces et l'indice des milieux. Pour calculer le système optique de l'œil, il faut donc connaître

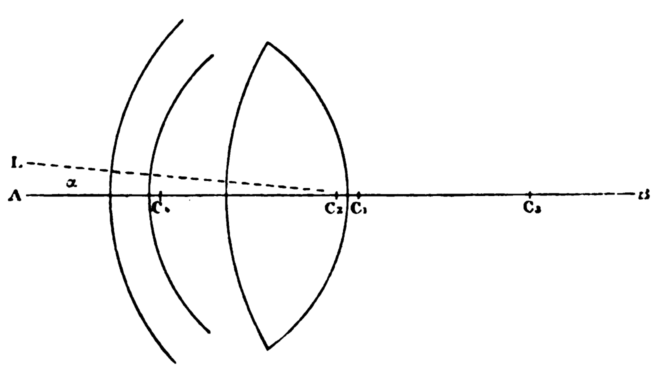


Fig. 21. — Le système optique de l'œil (gauche). C_1, C_2, C_3, C_4, les centres des quatre surfaces dans leur ordre naturel. AB, axe optique ; L, ligne visuelle.

aussi exactement que possible ces chiffres, que l'on désigne souvent sous le nom de constantes optiques de l'œil. Ceux que j'ai donnés dans les exemples du chapitre précédent ne sont qu'approximatifs. Le tableau suivant donne les constantes d'un œil que j'ai mesuré avec tout le soin possible (fig. 21) :

Constantes optiques de l'œil.

Position de la surface antérieure de la cornée	0
— — — postérieure de la cornée.	$1^{mm},15$
— — — antérieure du cristallin	$3^{mm},54$
— — — postérieure du cristallin.	$7^{mm},60$
Rayon de la surface antérieure de la cornée	$7^{mm},98$
— — — postérieure de la cornée.	$6^{mm},22$
— — — antérieure du cristallin	$10^{mm},20$
— — — postérieure du cristallin.	$6^{mm},17$

Indice de l'air	admis	1
— de la cornée		1,377
— de l'humeur aqueuse		1,3365
— total du cristallin		1,42
— du corps vitré		1,3365

Les positions et les rayons des surfaces sont indiqués d'après des mensurations que j'ai faites au moyen de méthodes que je mentionnerai dans la suite.

La seule différence un peu importante avec les résultats trouvés jusqu'à présent provient de l'épaisseur du cristallin que, dans son œil schématique, *v. Helmholtz* avait admise de $3^{mm},6$, chiffre qui est certainement trop petit pour pouvoir être considéré comme une moyenne. J'ai aussi ajouté les chiffres de la surface postérieure de la cornée, que j'ai mesurée le premier.

Quant aux indices qu'on ne peut pas mesurer directement sur l'œil vivant, j'ai admis pour la cornée 1,377 d'après une mesure de *Matthiessen*, que j'ai du reste vérifiée. Ceux de l'humeur aqueuse et du corps vitré sont très exactement connus ; on peut en effet les déterminer avec une grande exactitude au moyen du réfractomètre d'*Abbe*, ou par d'autres méthodes analogues.

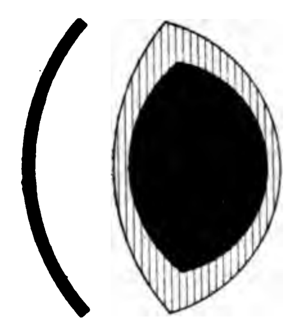


Fig. 22. — Système optique de l'œil de bœuf (Grossissement 2).

L'indice du cristallin est moins bien connu que les autres constantes optiques de l'œil. Il est d'abord à remarquer que ce corps n'est pas homogène ; son indice diminue graduellement à partir du centre du noyau vers la périphérie. La courbure de ses lamelles diminue en outre vers la périphérie, de sorte que chaque couche forme comme un ménisque, dont la concavité est plus forte que la convexité. Ceci résulte tant des recherches anatomiques que d'observations optiques que j'ai faites sur l'œil du bœuf (mort) (1).

Il se produit en effet souvent, dans le cristallin mort, une différentiation entre les masses corticales et le noyau, probablement causée par

(1) Voici les constantes optiques d'un tel œil (fig. 22) :

Rayon de la cornée	15 millimètres
Position de la cristalloïde antérieure	6 —
— — postérieure	17 —
Rayon de la surface antérieure du cristallin	14 —
— — postérieure du cristallin	8 —
— — antérieure du noyau	$8^{mm},5$
— — postérieure du noyau	7 —

l'imbibition des parties superficielles par l'eau ; à la suite de ce processus il se produit sur les surfaces du noyau une réflexion assez régu-

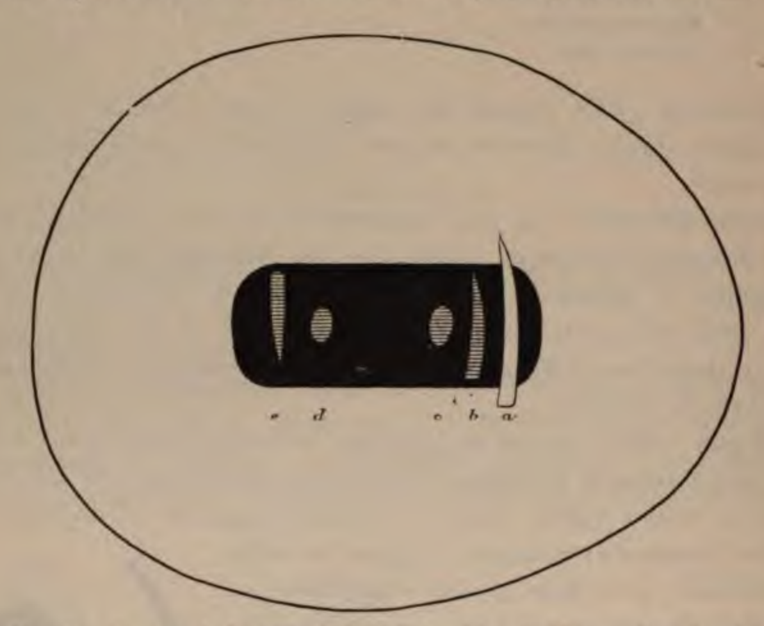


Fig. 23. — Images de Purkinje de l'œil de bœuf (mort) (Flamme d'une bougie).
a, image de la cornée ; *b*, image de la surface antérieure du cristallin ; *c*, image de la surface antérieure du noyau ; *d*, image de la surface postérieure du noyau ; *e*, image de la surface postérieure du cristallin.

lière, de façon qu'au lieu de deux images de réflexion on en voit quatre (fig. 23), lorsqu'on expose le cristallin à la lumière d'une flamme. Or, la

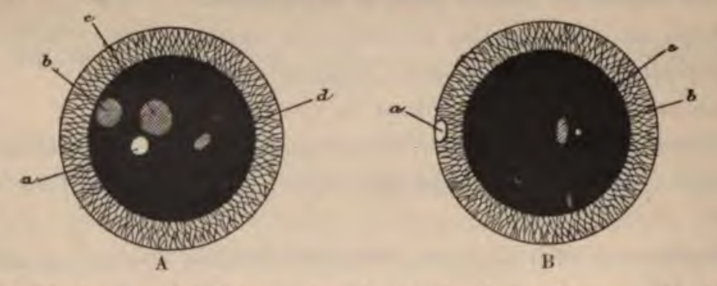


Fig. 24. — Doubles images cristalliniennes dans les cas de « faux lenticône ». D'après Demicheri.
A. Regard droit en avant.
a, image de la cornée ; *b*, image de la cristalloïde antérieure ; *c*, image de la surface antérieure du noyau ; *d*, image de la cristalloïde postérieure, laquelle coïncide, pour cette direction du regard, avec celle de la surface postérieure du noyau.
B. Regard en dehors.
a, image de la cornée ; *b*, image de la cristalloïde postérieure ; *c*, image de la surface postérieure du noyau.

position de ces images indique que la courbure des surfaces du noyau est considérablement plus grande que celle des surfaces cristalliniennes.

Le docteur *Demicheri* a dernièrement décrit des cas d'altérations du cristallin humain dans lesquels on peut également observer quatre images cristalliniennes; leur position indique aussi une courbure plus grande des surfaces du noyau (fig. 24).

On sait depuis longtemps qu'il résulte de cette construction spéciale du cristallin que son indice *total*, c'est-à-dire l'indice d'une lentille imaginaire ayant la même forme et la même distance focale que le cristallin, est plus grand, non seulement que l'indice moyen des couches cristalliniennes, mais même que celui du noyau.

Pour se rendre compte de ce phénomène paradoxal, on peut se figurer le cristallin divisé en deux parties, le noyau et la partie corticale, en admettant que l'indice soit uniforme dans chaque partie mais plus grand pour le noyau. A cause de sa forte courbure et de son indice élevé, le noyau (*a* fig. 25) aurait alors une force réfringente très considérable, mais qui serait diminuée par l'influence des couches corticales qui agissent comme deux lentilles concaves (*b*, *b*). Il est clair que, si l'indice de ces couches était plus fort, leur influence serait plus grande et la force réfringente de tout le cristallin serait par conséquent plus faible.

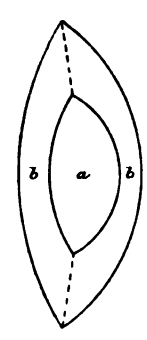


Fig. 25.

Th. Young posait l'indice du centre du noyau égal à 1,412 et il en déduisait par le calcul 1,436 pour l'indice total. Plus tard, *Listing* a admis 1,455 pour l'indice total, chiffre adopté par *v. Helmholtz*, mais qui est décidément trop fort. Pour son nouvel œil schématique ce dernier auteur admit plus tard un indice qui était presque identique à celui de *Young*. Dans ces derniers temps, *Matthiessen* s'est efforcé de déterminer la loi d'après laquelle l'indice du cristallin varie du centre vers la périphérie et d'en calculer l'indice total. D'après lui, la différence entre l'indice total et celui des couches superficielles serait le double de la différence entre l'indice du noyau et celui de ces couches corticales. Il a trouvé 1,437 comme indice total et la moyenne de ses mensurations de l'indice central se rapproche aussi beaucoup du chiffre de *Young*. — Des mesures que j'ai entreprises d'après une nouvelle méthode, en collaboration avec le docteur *Stadfeldt*, semblent pourtant montrer que la loi de Matthiessen ne peut être considérée que comme une approximation, et, d'un autre côté, les observations des opérés de cataracte semblent, comme nous le verrons plus tard, exiger un indice total plus faible. En attendant le résultat de nouvelles mensurations, j'adopte le chiffre de 1,42.

Grâce à la structure spéciale de cet organe, la force réfringente du

cristallin est de quelques dioptries plus forte qu'elle ne l'aurait été, si son indice avait été uniformément égal à celui du noyau. Par rapport à la réfraction totale de l'œil, l'augmentation n'est pas grande ; elle aurait facilement pu être obtenue par une courbure un peu plus grande de l'une des surfaces. Aussi la raison téléologique de cette structure est-elle plutôt à chercher dans le mécanisme de l'accommodation. Car ce mécanisme serait tel que je l'entends impossible sans les deux particularités qui caractérisent la structure du cristallin : l'augmentation de densité et l'augmentation de courbure des couches, à mesure qu'on se rapproche du centre. — Un autre avantage de cette structure du cristallin consiste à rendre plus faibles les images de l'œil que je désigne comme nuisibles et que je mentionnerai plus loin.

17. Système optique de l'œil. — En appliquant la théorie de *Gauss* aux données que nous venons d'admettre, on trouve les résultats suivants :

A. — *Système optique de la cornée.*

Position du premier point principal	— $0^{mm},13$
— du second point principal	— $0^{mm},14$
— du premier point nodal	$8^{mm},08$
— du deuxième point nodal	$8^{mm},07$
— du foyer antérieur	$24^{mm},53$
— du foyer postérieur	$32^{mm},47$
Distance focale antérieure	$24^{mm},40$
— — postérieure	$32^{mm}.61$
Force réfringente	40,98 D.

B. — *Système optique du cristallin.*

Position du premier point nodal	$5^{mm},96$
— du second point nodal	$6^{mm},14$
Distance focale du cristallin	$62^{mm},46$
Force réfringente	16,01 D.

En combinant ces deux systèmes, on trouve le système optique complet de l'œil.

C. — *Système optique complet de l'œil* (fig. 26).

Position du premier point principal	$1^{mm},54$
— du deuxième point principal	$1^{mm},86$
— du premier point nodal	$7^{mm},30$
— du deuxième point nodal	$7^{mm},62$
— du foyer antérieur	— $15^{mm},59$
— du foyer postérieur	$24^{mm},75$
Distance focale antérieure	$17^{mm},13$
— — postérieure	$22^{mm},89$
Force réfringente	58,38 D.

Grâce à ces données, nous éliminons pour ainsi dire tout le système optique réel de l'œil. Dans le système que nous venons de calculer, nous ne nous occupons que de la marche des rayons dans l'air, avant d'entrer dans l'œil, et de leur marche dans le corps vitré, après la sortie du cristallin ; leur marche entre la surface antérieure de la cornée et la surface postérieure du cristallin nous reste inconnue.

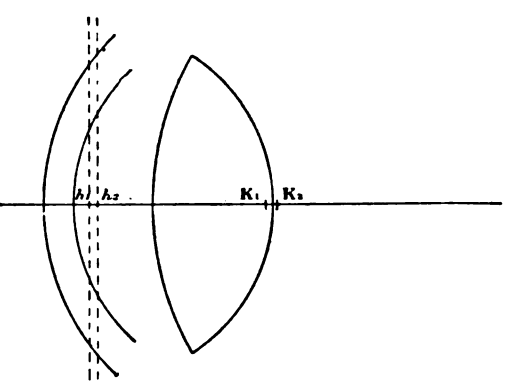


Fig. 26. — Position des points cardinaux de l'œil humain (Gr. 4).
h_1 h_2, plans principaux ; K_1, K_2, points nodaux.

On remarque que la réfringence de la cornée est d'environ 2,5 fois plus grande que celle du cristallin. La somme de leur force réfringente n'est pas loin d'être égale à la force réfringente de l'œil, parce que les points nodaux de la cornée se trouvent assez près de ceux du cristallin (1).

Le petit tableau suivant montre la force réfringente de chacune des surfaces.

Surface antérieure de la cornée	. . . .	+ 47,24 D.
— postérieure de la cornée	. . . .	— 4,73 D.
— antérieure du cristallin	. . . .	+ 6,13 D.
— postérieure du cristallin	. . . .	+ 9,53 D.
	Total.	+ 58,17 D.

La surface postérieure de la cornée a jusqu'à présent été négligée par les auteurs ; on voit qu'elle a une certaine importance. Sa valeur est négative et presque aussi grande que celle de la surface antérieure du cristallin. Nous verrons qu'elle semble jouer un rôle dans certaines formes d'astigmatisme.

Néanmoins, on ne commet qu'une erreur bien faible en la négligeant,

(1) La force réfringente de l'œil serait rigoureusement égale à la somme des forces de ses systèmes composants, si le point principal antérieur du cristallin coïncidait avec le point nodal postérieur de la cornée, ou si l'on considère la cornée comme une simple surface réfringente, avec son centre. Dans la formule du paragraphe 15

$$F_1 = \frac{\varphi_1 f_1}{\varphi_1 + f_2 - d}$$

on aurait en effet dans ce cas $d = f_2 - f_1$, ce qui donne

$$F_1 = \frac{\varphi_1 f_1}{\varphi_1 + f_1} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{F_1} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{\varphi_1}$$

c'est-à-dire en admettant que la substance de la cornée n'existe pas, la surface antérieure séparant simplement l'air de l'humeur aqueuse. En éliminant l'influence négative de la surface postérieure, la réfraction totale de la cornée devrait augmenter, mais la force de la surface antérieure diminue presque autant, puisqu'on remplace l'indice de la cornée par celui plus faible de l'humeur aqueuse. Dans notre cas on aurait, en faisant cette simplification, trouvé une force réfringente de la cornée égale à 42,16 D. au lieu de 40,98 D., c'est-à-dire qu'on aurait commis une erreur de 1,18 D. ou d'environ 1/50 de la force totale de l'œil.

L'œil droit, dont j'ai ici calculé le système optique (dans le méridien horizontal), est le seul dont nous possédons jusqu'ici des mesures complètes. Je tiens à faire remarquer qu'il n'est pas à considérer comme une moyenne. Le rayon de la cornée est de deux ou trois dixièmes de millimètre au-dessus de la moyenne et la longueur de l'axe de l'œil supposé emmétrope, que nous avons trouvée égale à $24^{mm},75$, est probablement aussi un peu au-dessus de la moyenne. Cet œil est donc à considérer comme relativement grand, d'autant plus que la personne à laquelle il appartient est d'une taille assez élevée. Un léger degré d'astigmatisme direct agirait aussi dans le même sens. J'ai mesuré quelques autres yeux, mais pas en assez grand nombre pour pouvoir établir une moyenne.

18. Ouverture du système. — La théorie de *Gauss* suppose que l'ouverture du système soit très petite, ce qui n'est nullement le cas dans l'œil, et beaucoup d'erreurs commises dans les questions de la réfraction oculaire me semblent dues à ce qu'on n'a pas suffisamment tenu compte de la grande ouverture du système. Dans les instruments d'optique on n'accepte guère d'ouverture supérieure à dix ou douze degrés. En admettant que la pupille ait un diamètre de 4 millimètres, l'ouverture de la cornée serait de 20 degrés ; et un diamètre pupillaire de 4 millimètres est plutôt faible, car il ne faut pas oublier qu'en général nous examinons nos malades avec un éclairage très fort. Dans les circonstances ordinaires de la vie, le diamètre pupillaire est le plus souvent plus grand (5 à 6 millimètres), d'où résultent une série de défauts qui seraient encore plus grands s'il n'y avait pas de précautions spéciales prises pour les neutraliser en partie.

Il faut bien remarquer que la pupille n'est vue ni à sa place réelle ni avec sa grandeur véritable : elle paraît avancée et agrandie, à cause de la réfraction à travers la cornée. Il est facile de déterminer sa place et sa grandeur apparentes. Mettons en effet dans notre formule générale, $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$, les valeurs de la cornée de l'œil simplifié, $F_1 = 24$,

$F_2 = 32$, et la distance de la cristalloïde antérieure et de la pupille à la surface antérieure de la cornée, $f_2 = 3,6$, et nous trouvons $f_1 = -3,04$. Et si la grandeur réelle est de 4 millimètres, nous mettrons dans la formule $\frac{I}{O} = \frac{F_2}{l_2}$, $O = 4^{mm}$, $F_2 = 32^{mm}$, $l_2 = 3^{mm},6 - 32^{mm} = -28^{mm},4$; donc $I = \frac{4.32}{28,4} = 4^{mm},5$.

La pupille paraît donc avancée d'environ $0^{mm},5$ et agrandie de la même quantité. L'iris paraît en même temps bombé en avant.

Ce que nous voyons est donc une image virtuelle de l'iris et de la pupille. On désigne ces images sous le nom d'*iris* et de *pupille apparents*. Ce sont des images *aériennes*. Des rayons qui, dans l'air, sont dirigés vers un point de la pupille apparente sont, après la réfraction par la cornée, dirigés vers le point correspondant de la pupille réelle.

Si l'on se figure l'iris et la pupille vus, à travers le cristallin, par un œil se trouvant dans le corps vitré, la pupille ne paraîtrait pas non plus à sa place, mais le déplacement serait plus faible ; elle serait vue à peu près à $0^{mm},1$ plus en arrière qu'elle ne l'est en réalité, et agrandie de $0^{mm},2$. Des rayons provenant d'un point de la pupille réelle iraient dans le corps vitré comme s'ils venaient du point correspondant de l'image cristallinienne.

Si l'on avait construit l'image cornéenne et l'image cristallinienne d'un point de la pupille, on saurait donc qu'un rayon dirigé vers le premier passerait, après la réfraction par la cornée, par le point même, et, après la réfraction par le cristallin, par l'image cristallinienne du point. La pupille apparente appartient donc aux rayons incidents comme le premier point principal ou le premier point nodal, et l'image cristallinienne de la pupille appartient aux rayons sortants.

Le cône lumineux qui entre dans l'œil est limité par la pupille apparente ; dans sa marche entre la cornée et le cristallin, il est limité par la pupille réelle et, dans le corps vitré, par l'image cristallinienne de la pupille. Il y a des phénomènes analogues dans la plupart des instruments d'optique, partout où un diaphragme se trouve placé entre deux lentilles ; le professeur *Abbe* a proposé les noms de *pupille d'entrée* (Eintrittspupille) et *pupille de sortie* (Austrittspupille) pour les images du diaphragme.

Nous avons vu que les plans principaux sont chacun l'image de l'autre et qu'ils ont ceci de caractéristique qu'objet et image sont de même grandeur.

Dans la formule $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$, les distances marquées 1 sont comptées à partir du premier point principal, celles marquées 2 à partir du deuxième point principal. Mais on peut, dans cette formule, aussi bien

compter les distances de n'importe quelle autre paire de points dont l'un est l'image de l'autre, par exemple à partir de la pupille d'entrée et de la pupille de sortie. On aurait ainsi dans la figure 27 la relation $\frac{M_1}{m_1} + \frac{M_2}{m_2} = 1$, et on pourrait trouver l'image d'un objet par des constructions analogues à celles où nous avons employé les plans principaux. La seule différence est celle-ci : si un rayon incident rencontre le premier plan principal à une distance de l'axe égale à y, le rayon sortant coupe aussi le deuxième plan principal à une distance de l'axe égale à y. Mais, si le rayon incident rencontre la pupille d'entrée à une distance

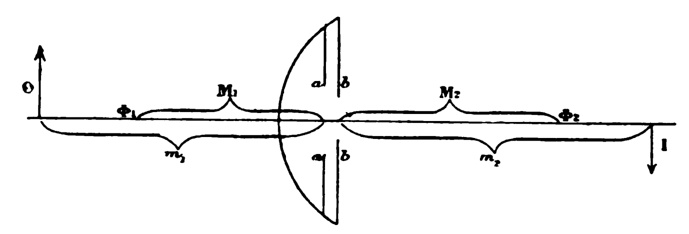


Fig. 27. — *aa*, pupille d'entrée ; *bb*, pupille de sortie ; O, objet ; I, image ; Φ_1, foyer antérieur ; Φ_2, foyer postérieur.

de l'axe égale à y, le rayon sortant coupe le plan de la pupille de sortie à une distance de l'axe qui est à y dans le même rapport que le diamètre de la pupille de sortie est à celui de la pupille d'entrée. Dans notre cas ce serait le rapport de $\frac{42}{45}$. Cette manière de procéder est souvent plus commode que la méthode classique, surtout parce qu'il est facile par cette construction de se rendre compte du diamètre du cône lumineux.

19. Point de fixation. Ligne visuelle. — Pour distinguer un objet nettement, il est nécessaire de le *fixer*, c'est-à-dire de placer l'œil de telle façon que son image se forme sur la *fovea*. Le point fixé et la *fovea* sont donc foyers conjugués. Mais, on se tromperait gravement en pensant que toute la *fovea* correspond au point de fixation. La *fovea* anatomique a une étendue de $0^{mm},2$ à $0^{mm},4$ (*Henle*) ou de $0°,75$ à $1°,50$, vue du point nodal postérieur (à 16 millimètres de la rétine). En regardant le ciel la fovea couvrirait donc une partie ayant deux ou trois fois le diamètre de la lune, lequel correspond à un demi-degré. Le point de fixation a une étendue bien plus petite, car on peut très bien dire si l'on fixe le bord droit ou le bord gauche de la lune. En général, aussi près que l'on rapproche deux points l'un de l'autre, tant qu'on peut voir qu'il y en a deux, on peut dire lequel on fixe. C'est *Javal* qui a surtout insisté sur ce fait, auquel il attribue une grande importance pour la théorie de la vision binoculaire.

On désigne comme *ligne visuelle* le rayon qui va du point fixé au premier point nodal et qui, par conséquent, après réfraction, parvient à la fovea comme s'il venait du deuxième point nodal. Si, dans l'œil aphake, on néglige la surface postérieure de la cornée, la ligne visuelle passe par le centre de courbure de la surface antérieure ; elle est donc normale à cette surface. Dans un œil normal, elle n'est jamais loin de l'être, puisque les points nodaux se trouvent très près du centre de courbure de la surface antérieure de la cornée. La direction de la ligne visuelle ne dépend pas de la position de la pupille. Dans des cas de déplacement pupillaire il peut arriver que le rayon qui représente la ligne visuelle n'arrive pas à entrer dans l'œil. On ne connaît pas de méthode exacte pour déterminer expérimentalement la direction de la ligne visuelle dans l'œil.

20. Axe optique. Angle α. — Un centrage exact exigerait que les quatre centres de courbure, ou les trois, si l'on néglige la surface postérieure de la cornée, fussent sur une même ligne droite. Le centrage de l'œil n'est jamais exact, mais les écarts qu'on peut constater sont souvent faibles. Dans quelques cas, j'ai pourtant constaté des défauts de centrage relativement considérables dans des yeux qui, du reste, d'après leur fonctionnement, devraient être considérés comme normaux. Le défaut que j'ai rencontré le plus souvent consiste en ce que le centre de courbure de la cornée est situé (jusqu'à un quart de millimètre) au-dessous de l'axe cristallinien. — En négligeant ces écarts, on peut considérer le système optique de l'œil comme centré autour d'une droite qu'on désigne comme l'*axe optique* de l'œil. Cette ligne ne coïncide pas avec la ligne visuelle ; elle est dirigée en dehors et en bas de cette ligne et forme avec elle un angle de 5 à 7°, désigné sous le nom d'*angle* α (fig. 21). — Nous verrons plus tard que la surface antérieure de la cornée n'est pas sphérique : elle est aplatie vers la périphérie, de sorte qu'on a pu la comparer à une ellipsoïde de révolution autour du grand axe. Certains auteurs désignent comme angle α l'angle que forme la ligne visuelle avec cet axe qui passe par l'endroit le plus courbe de la cornée (le sommet). En général, l'axe de la cornée coïncide à peu près avec l'axe optique de l'œil, de façon que les deux définitions reviennent au même. Mais nous verrons que l'assimilation de la forme de la cornée à celle d'un ellipsoïde est très défectueuse. Aussi vaut-il mieux conserver la définition ancienne.

On peut comparer le système optique de l'œil à celui d'une lunette. Si l'opticien, par une malfaçon, avait placé une des lentilles un peu obliquement, ou s'il avait placé le milieu de cette lentille un peu en

dehors de l'axe de l'instrument, ce défaut correspondrait à un défaut de centrage de l'œil. — Si, au contraire, l'observateur regardait un peu obliquement à travers la lunette, la ligne visuelle formerait avec l'axe de la lunette un angle qui correspondrait à l'angle α.

21. Image utile. — Le système optique de l'œil forme une image dioptrique, *réelle*, *renversée* et *diminuée*, qui est projetée sur la rétine, comme l'image photographique se forme sur l'écran de la chambre noire. La comparaison entre l'œil et la chambre noire date de l'invention de cet instrument (*Porta*, *Léonard de Vinci*). Mais, bien qu'on eût dès cette époque tous les éléments nécessaires pour comprendre la construction de l'œil, il continuait pourtant à régner une grande confusion sur cette question, surtout parce qu'on ne pouvait pas se résoudre à admettre que l'image qui sert à la vision fût renversée. C'est *Kepler* (1604) qui expliqua le premier la formation des images en général et fut conduit à admettre l'existence d'une image renversée sur la rétine, image qui fut plus tard démontrée par *Scheiner* sur un œil auquel il avait enlevé une partie de la sclérotique et de la choroïde. — Mais, outre cette image que je désigne comme l'image utile, parce qu'elle sert à la vision, il se forme dans l'œil une série d'autres images que j'ai désignées sous le nom de fausses images de l'œil, et qui formeront l'objet du chapitre suivant.

Bibliographie. — *Œuvres ophtalmologiques* de Th. Young, Ed. Tscherning, p. 134-137. — Listing J., *Dioptrik des Auges* dans Wagner, *Handwoerterbuch der Physiologie*. — Tscherning M., *Beitraege zur Dioptrik des Auges* dans *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, III, p. 429. — Matthiessen. *Die neueren Fortschritte in unserer Kentniss von dem optischen Baue des Auges der Wirbelthiere* dans *Beitraege zur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, offerts à v. Helmholtz à l'occasion de son 70ᵉ anniversaire.

CHAPITRE III

LES FAUSSES IMAGES DE L'ŒIL

22. Remarques générales. — Si l'on place une flamme à quelque distance d'une lentille, on remarque du côté de la lumière deux images réfléchies de la flamme, une pour chaque surface. En plaçant l'œil de l'autre côté de la lentille à quelque distance, on voit l'image dioptrique, qui est réelle, et en outre une petite image pâle, due à une double

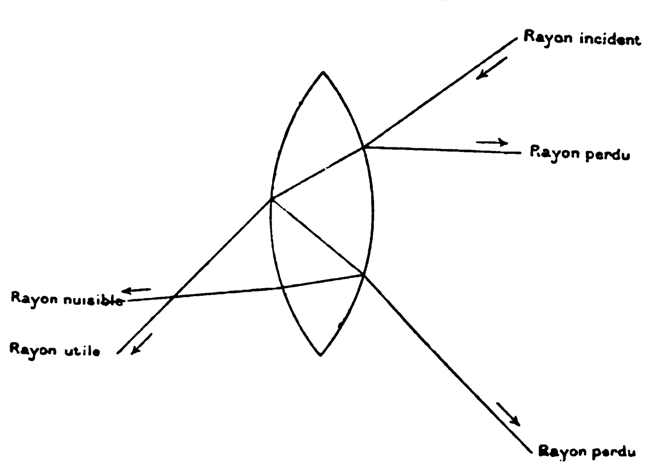


Fig. 28. — Réflexions et réfractions par une lentille.

réflexion dans l'intérieur de la lentille, une première produite par la surface postérieure et une deuxième par la surface antérieure (fig. 28). Les rayons qui forment cette dernière image subissent en outre une réfraction par chaque surface de la lentille. La petite image est réelle ; on peut en effet la recevoir sur un écran tenu près de la lentille.

La lumière incidente se divise ainsi en trois portions : la lumière *utile,* qui forme l'image dioptrique dont on se sert généralement, la lumière *perdue* par réflexion sur les surfaces et enfin la lumière réfléchie deux fois, que je désigne comme *nuisible* ; elle peut en effet entrer

dans l'œil, qui observe l'image utile, où elle est souvent une cause de gêne, parce qu'elle ne contribue pas à la formation de cette image. Une simple lentille perd environ 8 p. 100 par réflexion et la lumière nuisible ne représente que 1/500 de la lumière incidente. Dans les instruments compliqués on perd bien plus de lumière. Dans l'ophtalmomètre de *Javal et Schioetz* la perte est d'environ 33 p. 100.

Dans l'œil humain on peut aussi distinguer entre la lumière *utile* qui traverse les surfaces, la lumière *perdue* par réflexion, et la lumière *nuisible* qui, ayant subi deux réflexions, revient de nouveau vers la rétine. Mais l'œil a ceci de particulier que, de tous les instruments d'optique, c'est celui qui perd le moins de lumière (environ 2 p. 100). La lumière nuisible est aussi réduite à un minimum, mais, si faible qu'elle soit, elle est pourtant visible.

La lumière utile forme l'image dioptrique qui sert à la vision ; la lumière perdue forme quatre fausses images de premier ordre, dites

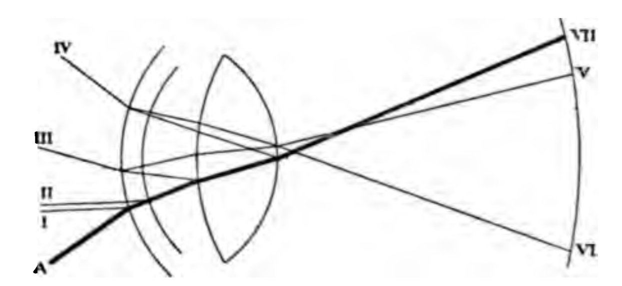


Fig. 29. — Manière dont un rayon lumineux se divise dans l'œil.

A, rayon incident. — I, II, III, IV, rayons perdus correspondant aux quatre images de *Purkinje* ; V et VI, rayons nuisibles correspondant à la cinquième et sixième image ; VII, rayon utile.

images de *Purkinje*, une pour chaque surface ; elles correspondent aux rayons I, II, III et IV, figure 29. La lumière nuisible forme une série de fausses images de second ordre dont, une seule est visible (rayons V et VI, fig. 29).

23. Les images de Purkinje. — Ces images ont été décrites au commencement de ce siècle par le savant dont elles portent le nom, mais l'une d'elles, la deuxième, a été perdue de vue jusqu'à ce que je l'aie décrite de nouveau, il y a quelques années (1). La première de ces images, celle due à la surface antérieure de la cornée, est produite par une simple réflexion, les autres sont formées par des rayons qui, après avoir subi une ou plusieurs réfractions, sont d'abord réfléchis, puis subissent

(1) Voir pourtant *Blix*. Oftalmometriska Studier. Uppsala, 1880, p. 63.

encore des réfractions avant de sortir de l'œil. Les systèmes optiques qui produisent ces images sont donc assez compliqués, mais on peut toujours les remplacer par une seule surface réfléchissante, que je désigne comme la *surface apparente*.

Supposons par exemple que nous voulons étudier la troisième image de Purkinje, celle produite par réflexion à la surface antérieure du cristallin. En négligeant la faible réfraction par la surface postérieure de la cornée, les rayons subissent, outre la réflexion, deux réfractions, une en entrant et l'autre en sortant de l'œil. Or, nous pouvons remplacer

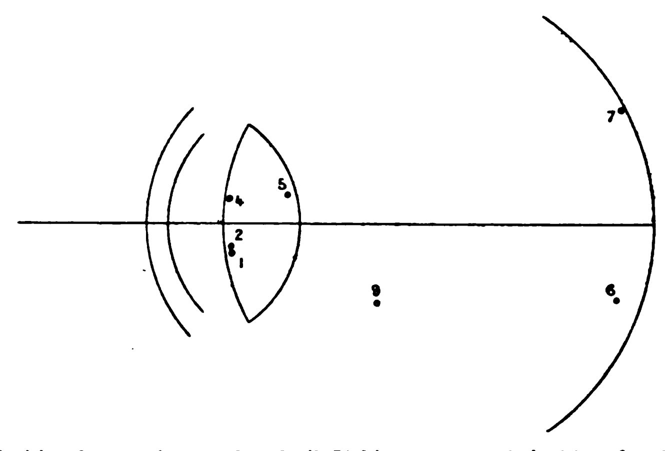


Fig. 30. — Position des sept images dans l'œil. L'objet est supposé situé à 20 degrés au-dessous de la ligne visuelle.

cette série de réfractions et de réflexions par une simple réflexion sur la surface apparente. On trouve la *position* de cette surface en cherchant la position de l'image de la surface réelle, vue à travers la cornée, de la même façon que nous avons déjà trouvé la position de la pupille apparente, au moyen de la formule $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$; avec les valeurs de l'œil simplifié, nous avons $F_1 = 24^{mm}$, $F_2 = 32^{mm}$, $f_2 = 3{,}6^{mm}$, ce qui donne la position de la surface apparente, $f_1 = - 3^{mm}$. On cherche ensuite la position du centre de la surface apparente, en cherchant de la même manière l'image du centre de la surface réelle vu à travers la cornée ($f_1 = 13{,}5$, ce qui donne $f_2 = - 17{,}5$). La surface apparente se trouvant à 3^{mm} et son centre à $17^{mm}{,}5$, elle doit fonctionner comme un miroir convexe de $14^{mm}{,}5$ de rayon, placé trois millimètres derrière la cornée. Le foyer se trouve à égale distance entre la surface et le centre, c'est-à-dire à $10^{mm}{,}2$ derrière la cornée ; c'est donc à peu près à cet endroit que se forme la troisième image de Purkinje. On peut aussi employer la surface apparente pour calculer la grandeur de l'image, suivant la formule $\frac{O}{I} = \frac{2l}{R}$ (v. p. 5).

Pour faire le même calcul pour la surface postérieure du cristallin, il faut d'abord calculer le système réfringent composé de la cornée et de la surface antérieure du cristallin, et ensuite les images de la surface postérieure et de son centre, vus à travers ce système. — Excepté la cristalloïde antérieure, les surfaces apparentes ne diffèrent du reste que peu des surfaces réelles.

Les trois premières surfaces étant convexes, leurs images sont droites, tandis que celle de la quatrième est renversée. — L'objet étant généralement assez éloigné, les images se forment à peu près aux foyers catoptriques des surfaces apparentes. La première, deuxième et quatrième se trouvent à peu près dans le plan pupillaire, tandis que la troisième est située à 7 ou 8^{mm} en arrière de ce plan (fig. 30). — Aussi la troisième image disparaît-elle facilement derrière l'iris, lorsque l'œil fait un petit mouvement, ce qui rend cette image plus difficile à observer que les autres.

24. Manière d'observer les images de Purkinje. — La première image, celle de la surface antérieure de la cornée, est de beaucoup la plus brillante ; son observation n'offre pas de difficultés.

Pour observer la *deuxième image*, on se place comme lorsqu'on veut examiner un malade à l'éclairage oblique, et on examine l'œil avec une loupe, une lentille de 10 D. par exemple, mais sans concentrer la lumière sur l'œil.

En examinant l'image cornéenne de la flamme, on verra, lorsqu'elle se rapprochera du bord pupillaire et encore mieux lorsqu'elle l'aura dépassé, qu'elle est accompagnée d'une petite image qui se trouve près d'elle. Plus les images se rapprochent du limbe, plus elles sont distantes l'une de l'autre ; près du limbe la distance peut dépasser un millimètre, et la petite est souvent encore visible lorsque la grande a déjà disparu en laissant la place au reflet irrégulier de la sclérotique.

La petite image se trouve toujours située entre la grande image et le milieu de la pupille, ce qui indique que la surface postérieure est plus courbe que la surface antérieure. Supposons, en effet, que nous employions deux lampes, une de chaque côté, et considérons la distance séparant les deux lampes comme objet (fig. 31). Il est alors clair que l'image de la surface postérieure est plus petite que celle de la surface antérieure, ce qui indique que sa courbure est plus forte. Au milieu de la pupille la petite image n'est pas visible parce qu'elle coïncide avec la grande ; elles sont en effet situées à la même distance du sommet de la cornée.

La troisième image, la plus grande, conserve toujours, quoi qu'on

fasse, un aspect plus ou moins diffus, dû à ce que l'indice varie dans les couches superficielles du cristallin. Pour l'observer, on se place comme tout à l'heure, en demandant à l'observé de regarder dans une direction qui soit à peu près bissectrice de la distance angulaire entre l'œil de l'observateur et la flamme. En déplaçant son œil un peu de côté et d'autre, l'observateur arrive assez facilement à voir l'image qui se présente comme une grosse lueur, pâle et plus ou moins diffuse, et qui change de place au moindre mouvement de l'œil observé.

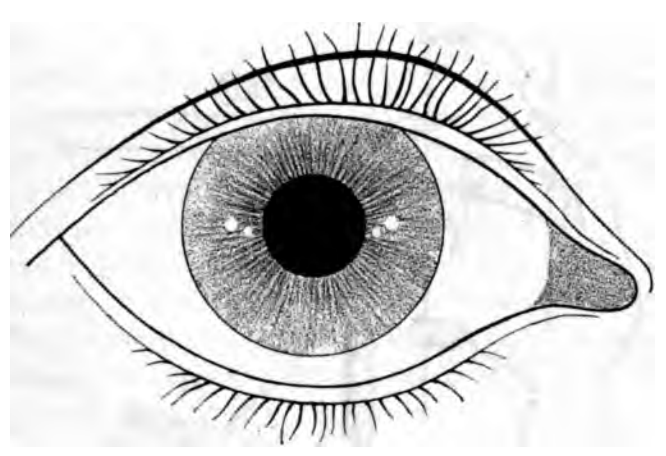


Fig. 31. — Images cornéennes de deux lampes, observées avec l'ophtalmophakomètre. Les petites images à côté des grandes sont dues à la réflexion par la surface postérieure de la cornée.

Après avoir trouvé l'image, on peut concentrer la lumière sur l'œil ; par ce moyen on agrandit l'image, qui arrive à remplir toute la pupille. Si la lumière est vive, la pupille paraît souvent blanche, comme si l'œil était atteint d'une cataracte mûre, et l'on peut, en l'examinant à la loupe, ainsi observer des détails anatomiques qu'on ne peut découvrir d'aucune autre manière. Je recommande aux cliniciens cet examen, dont je ne trouve la description nulle part (1).

La troisième image est, comme nous le verrons, d'une grande importance pour l'étude de l'accommodation.

---

(1) *Anneaux de* Demicheri. — Demicheri a dernièrement (*Bulletin de la Société d'ophtalmologie de Paris*) décrit des phénomènes de coloration qu'on observe par cette méthode dans la pupille, dans certaines affections du cristallin. Le milieu de la pupille paraissait bleu noirâtre ; il était entouré d'une zone verte, ensuite d'une zone jaune, et enfin d'une zone rouge, près du bord pupillaire. Il s'agissait de cas de cataracte plus ou moins mûre. Dans un cas que j'ai examiné et où le cristallin paraissait du reste intact, la pupille se remplissait par cet examen d'un rouge intense, de sorte qu'on l'aurait crue remplie de sang. — Ces couleurs sont probablement des phénomènes d'interférence, dus à la réflexion sur la surface finement cannelée de la masse cristallinienne, à peu près comme les couleurs que présente la nacre, mais les conditions sous lesquelles elles se produisent sont encore inconnues.

La *quatrième image* n'offre en général pas de difficultés pour l'observation. — Elle s'observe dans les mêmes conditions que la précédente, en faisant tourner le regard de l'observé un peu vers la lampe. Elle est petite et nette. Etant renversée, elle se meut dans le sens contraire des autres.

Pour un examen plus approfondi de ces images, on peut se servir de mon ophtalmophakomètre (fig. 32). Il se compose d'une petite lunette qui

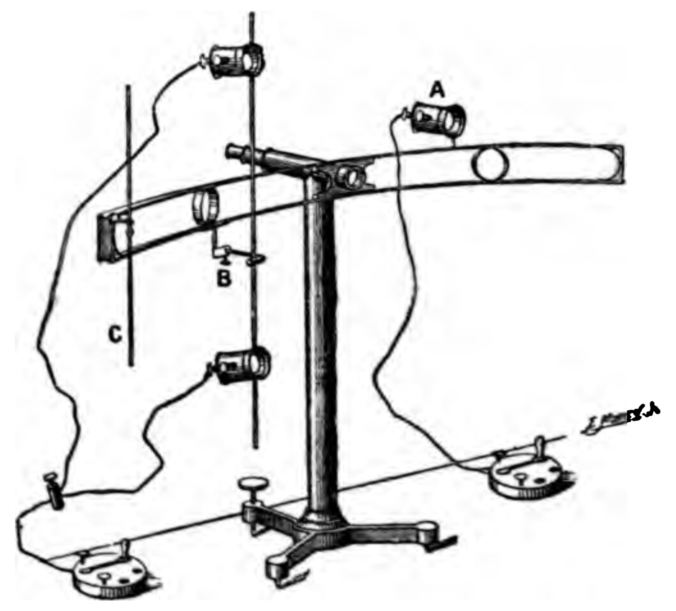


Fig. 32. — L'ophtalmophakomètre.

repose sur un pied et d'un arc en cuivre, mobile autour de l'axe de la lunette et portant une échelle dont le zéro coïncide avec celui-ci. Le rayon de l'arc est de 86 centimètres. La tête de l'observé est fixée par une têtière, de façon que l'œil qu'on veut examiner se trouve au centre de l'arc. — Sur l'arc glissent différents curseurs qui portent des lampes électriques. Chaque lampe est enfermée dans un tube, fermé en avant par une lentille plan convexe qui concentre la lumière sur l'œil observé. — Je parlerai plus loin de la manière d'employer l'instrument pour la mensuration des surfaces internes de l'œil.

25. Les fausses images de second ordre. — Les rayons réfléchis qui sortent de l'œil pour former les images de *Purkinje* rencontrent tous, excepté ceux de la première image, des surfaces qui réfléchissent de nouveau une partie de la lumière ; cette lumière est extrêmement faible pour la plupart des surfaces ; ce n'est qu'en rencontrant la surface anté-

rieure de la cornée qu'il se réfléchit une lumière assez forte pour être visible. Ainsi, il se forme encore deux images, la *cinquième*, produite par une première réflexion sur la cristalloïde antérieure et une deuxième réflexion sur la surface antérieure de la cornée, et la *sixième*, due à une première réflexion sur la surface postérieure du cristallin et une deuxième réflexion sur la surface antérieure de la cornée. — Comme les rayons reviennent vers la rétine, ces images sont subjectives.

Les systèmes optiques qui produisent ces images sont très compliqués ; ils se calculent du reste d'après les formules que nous avons exposées page 21. Le foyer de la *cinquième image* se trouve près de la cristalloïde postérieure. C'est donc à cet endroit que se forme cette image d'un objet éloigné. Avant d'arriver à la rétine, les rayons sont tellement dispersés, qu'ils ne sont plus visibles : au moins je n'ai pas pu découvrir la moindre trace de cette image. Théoriquement, on devrait pouvoir la rendre visible en rapprochant l'objet, puisque l'image et l'objet se meuvent dans le même sens comme dans tous les systèmes réfringents ; mais l'expérience ne réussit pas. En effet, lorsqu'on porte la flamme avec laquelle on travaille assez près de l'œil, l'image utile se change en un cercle de diffusion qui remplit la plus grande partie du champ et empêche de voir autre chose.

Le foyer du *sixième système* se trouve au contraire très près de la rétine de l'œil emmétrope ; aussi l'image est-elle en général facile à observer.

26. Manière d'observer la sixième image. — On choisit, dans une chambre demi-obscure, un point de fixation situé à quelque distance, et, tout en fixant ce point, on promène une bougie qu'on tient à la main dans un mouvement de va-et-vient horizontal, en la rapprochant et l'éloignant de la ligne visuelle sans toutefois l'atteindre.

On remarque alors de l'autre côté de la ligne visuelle une image pâle de la flamme. Certaines personnes voient le phénomène avec assez de netteté pour pouvoir distinguer que l'image paraît renversée, l'image rétinienne étant droite. On distingue au mieux la forme de l'image lorsqu'on fait passer la bougie au-dessous de la ligne visuelle ; l'image passe alors au-dessus et on voit que sa pointe est dirigée vers le bas. Les myopes voient l'image plus difficilement ; ils réussissent souvent mieux en mettant leurs verres correcteurs, mais ils doivent alors se garder de la confondre avec des images produites par des réflexions répétées entre la cornée et les verres.

Il semble qu'il existe des personnes qui ne peuvent réussir l'expérience. Si la chambre antérieure est d'une profondeur insolite, il peut en

effet arriver que le foyer du système se trouve assez loin de la rétine, mais on devrait alors pouvoir réussir en approchant ou éloignant la flamme de l'œil.

On voit donc combien il est utile que la lumière nuisible soit réduite à un minimum ; en effet, si l'indice des couches cristalliniennes superficielles avait été plus élevé, la sixième image aurait eu plus d'éclat et nous serions affectés d'une diplopie monoculaire gênante. Il y a, du reste, aussi lieu de s'étonner de la sensibilité énorme de la rétine. L'éclat de la sixième image n'est en effet que $\frac{1}{40\,000}$ de celui de l'image utile.

On peut étudier la sixième image de plus près, au moyen de l'ophtalmophakomètre, en se mettant à la place de l'examiné, et en fixant le milieu de l'objectif de la lunette, qui correspond au zéro de la division.

En mettant l'arc horizontalement et en plaçant la lampe A qui glisse sur l'arc à quelque distance de la lunette, on voit l'image apparaître de l'autre côté. On amène un des curseurs de l'arc à coïncider avec l'image, de façon qu'on puisse lire sa position sur l'échelle. On remarque alors que l'image n'est qu'approximativement symétrique de la lampe, par rapport à la ligne visuelle. En faisant subir à l'arc une rotation de 180°, de manière à amener la lampe dans une position symétrique de la première, on remarque que l'image ne coïncide plus avec le curseur. Ceci tient à l'angle α. Si la ligne visuelle coïncidait avec l'axe optique, les deux positions de l'image correspondant à deux positions symétriques de la lampe devraient être symétriques. On peut employer des mensurations de cette sorte pour déterminer la grandeur de l'angle α.

C'est en me servant de l'ophtalmophakomètre que j'ai trouvé cette image, que j'ai décrite comme nouvelle en 1891. Mais *Coccius* l'avait vue antérieurement et *Otto Becker* en avait donné l'explication, en 1860, dans un mémoire qui est très peu connu. *Heuse* l'a décrite de nouveau en 1872, mais en en donnant une explication erronée.

Les images de *Purkinje* n'ont aucun intérêt pour le fonctionnement de l'œil, mais elles ont une grande importance pour la physiologie de la vision. C'est en effet en les étudiant que nous pouvons déterminer la forme et la position des surfaces réfringentes de l'œil. L'étude de ces images constitue l'ophtalmométrie, dont nous allons nous occuper dans la suite.

Bibliographie. — Purkinje (I.-E.). *Commentatio de examine physiologico organi visus et systematis cutanei*. Vratislaviæ, 1823. — Becker (O.). *Ueber Wahrnehmung eines Reflexbildes im eigenen Auge*. *Wiener medicinische Wochenschrift*, 1860, p. 670-672 et 684-688. — Heuse. *Ueber die Beobachtung einer neuen entoptischen Erscheinung. Grae-*

fe's Archiv. Bd. 18, 2, p. 236. — M. Blix. *Oftalmometriska Studier*. Upsala, 1880. — Tscherning. *Recherches sur la quatrième image de Purkinje ; Arch. de physiol.*, 1890. — Tscherning. *Théorie des images de Purkinje et description d'une nouvelle image. Arch. de physiol.*, 1891. — Tscherning. *Sur une nouvelle image à la fois catoptrique et dioptrique de l'œil humain et une nouvelle méthode pour déterminer la direction de l'axe optique de l'œil. Bulletin de la Société française d'ophtalmologie*, 1891, p. 203.

CHAPITRE IV

OPHTALMOMÉTRIE

27. Principes de l'ophtalmométrie. — La base de l'ophtalmométrie est la formule $\frac{O}{I} = \frac{l}{F} = \frac{2l}{R}$ ou $R = \frac{2lI}{O}$ (v. p. 5). Pour déterminer le rayon R du petit miroir convexe que forme la surface antérieure de la cornée, nous mesurons l'image I d'un objet O se trouvant à une distance donnée l. Il n'y a jamais de difficulté pour mesurer ni l'objet ni sa distance ; c'est donc de la mensuration de l'image qu'il faut nous occuper.

Disons tout de suite qu'on emploie en général comme objet la distance séparant deux flammes ou deux objets blancs (mires). L'image est alors la distance séparant les images des flammes ou des mires.

La méthode la plus employée par les physiciens, pour de telles mensurations, consiste à placer un micromètre au foyer de l'objectif de la lunette avec laquelle on observe l'image. L'objectif forme une image qui coïncide avec le micromètre, dont les divisions permettent de lire directement la grandeur de l'image, en l'observant à travers l'oculaire. On a essayé d'employer cette méthode pour l'ophtalmométrie, mais sans succès. Comme l'œil observé ne peut pas se tenir absolument immobile, l'image se déplace constamment par rapport au micromètre, ce qui rend impossible une mensuration un peu exacte.

C'est pourquoi *v. Helmholtz* a introduit dans l'ophtalmométrie un autre principe qu'il a emprunté à l'astronomie, où le même problème se pose, celui du *dédoublement*. Il semble pourtant que le procédé ait déjà été employé pour le même but par *Th. Young*.

Supposons que nous désirions mesurer la distance I séparant les deux points a et b (fig. 33, I), et que nous possédions un procédé qui nous permette de voir tout dédoublé d'une certaine distance D. Par ce moyen, au lieu des deux points a et b, on en verrait quatre, a_1 et a_2, b_1 et b_2, et la

distance $a_1\,a_2$ serait égale à $b_1\,b_2$ et à D, tandis que la distance $a_1\,b_1 = a_2\,b_2 = I$ (fig. 33,2).

Supposons maintenant que nous puissions faire varier le dédoublement. En l'augmentant, il arriverait un moment où a_2 et b_1 coïncideraient (fig. 33,3), ce qui aurait lieu au moment où I = D. Si nous connaissions le degré de dédoublement employé, nous aurions ainsi mesuré I = *ab*, ce que nous nous proposions. Lorsque *a* et *b* se touchent, nous disons que nous avons obtenu le *contact*. Si l'on emploie comme objets des flammes éloignées de façon que *a* et *b* forment des points lumineux, on obtient des mesures plus exactes en donnant à l'un d'eux la forme de deux points situés sur une même verticale (fig. 33,4) ; au moment du contact, l'image de *b* vient se placer juste entre les deux points *a*.

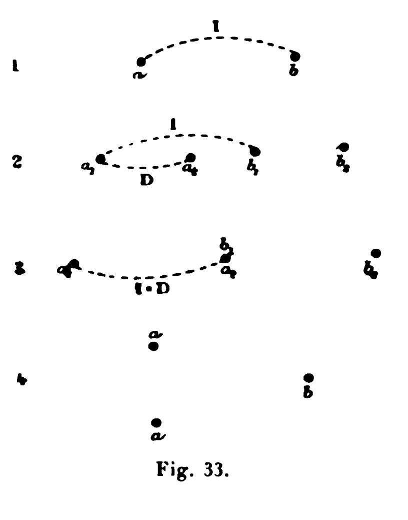


Fig. 33.

Au lieu de faire varier le dédoublement, on peut faire varier I, ce qui revient à faire varier l'objet (déplacer l'une des flammes) jusqu'à ce qu'on ait obtenu le contact.

En général, il est utile d'employer un certain grossissement pour avoir de bonnes mesures, ce qui conduit à employer une lunette placée à quelque distance de l'œil ; les instruments à court foyer, ressemblant plus ou moins à des microscopes, ne sont pas pratiques, parce qu'il est impossible de les tenir au point, l'œil observé ne pouvant rester assez immobile.

Ainsi, nous n'aurions qu'à appliquer notre appareil de dédoublement sur notre lunette et à placer convenablement deux flammes ou deux surfaces blanches qui nous serviraient comme objets, et nous serions prêts à commencer nos mensurations.

28. Méthodes de dédoublement. — *a*) Une première méthode consiste à diviser le cône lumineux qui rencontre l'objectif en deux moitiés, l'une supérieure et l'autre inférieure, et à déplacer chaque moitié latéralement, l'une à droite, l'autre à gauche. On peut obtenir cet effet :

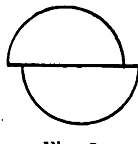
1° En plaçant devant la moitié supérieure (1) de l'objectif un prisme

(1) Je suppose ici et dans la suite que c'est le méridien horizontal qu'on mesure.

faible, l'arête à droite, et devant la moitié inférieure un autre, l'arête à gauche.

2° Au lieu de prismes on peut employer des plaques planes et parallèles, placées obliquement mais d'une manière symétrique par rapport à l'axe de la lunette. De telles plaques placées obliquement (v. p. 10) ont pour effet de déplacer l'objet latéralement, chacune de son côté ; l'effet est donc le même que celui des prismes, et les plaques donnent de meilleures images. — C'est le système employé par *v. Helmholtz,* qui faisait varier le dédoublement en changeant l'inclinaison des plaques, et plus tard par MM. *Leroy* et *Dubois*, qui employaient un dédoublement constant en faisant varier l'objet.

3° On peut scier l'objectif en deux et déplacer la moitié supérieure un peu à gauche, la moitié inférieure un peu à droite (fig. 34). Il est facile de voir que ce procédé doit produire un dédoublement de l'image, puisque le centre optique de l'objectif est pour ainsi dire divisé en deux moitiés, déplacées latéralement l'une par rapport à l'autre. Ce procédé donne de très bonnes images et on perd moins de lumière, puisqu'on évite la réflexion sur les surfaces des prismes ou des plaques, mais l'instrument est très difficile à construire ; le déplacement des deux moitiés de l'objectif, l'une par rapport à l'autre, doit en effet être fait avec une exactitude qui s'exprime en centièmes de millimètre.


Fig. 34.

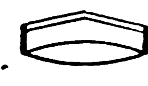
Tous ces moyens ne sont pas très pratiques, parce qu'ils exigent une mise au point très exacte de l'instrument pour trouver les méridiens de l'œil astigmate (v. ch. IX). — Si l'œil se déplace un peu pendant la mensuration, on peut trouver des directions fausses pour ces méridiens. *v. Helmholtz* remédiait à cet inconvénient en se plaçant très loin (à 1 ou 2 mètres) du malade, ce qui exige une chambre installée *ad hoc* et rend la mensuration assez difficile.

b) Une deuxième méthode consiste à diviser l'objectif en deux moitiés *latérales*, et à déplacer latéralement chaque moitié du cône lumineux incident. Une telle disposition peut être obtenue :

1° En plaçant devant l'objectif un biprisme à arête verticale ;

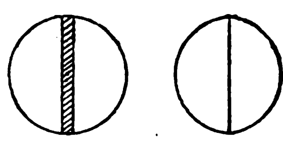
2° En plaçant devant chaque moitié de l'objectif une plaque à surfaces planes et parallèles, formant un angle avec l'axe de la lunette (fig. 35).

Ce sont les plaques de *v. Helmholtz* qu'on a placées l'une à côté de l'autre, au lieu de les placer l'une au-dessus de l'autre.


Fig. 35.

3° On peut obtenir le même effet en enlevant une bande verticale du milieu de l'objectif et en collant ensemble les parties restantes (fig. 36).

Les systèmes de cet ordre n'offrent aucune difficulté pour trouver les méridiens, mais ils ont un autre inconvénient : le contact dépend beaucoup de l'exactitude de la mise au point. Si, après avoir obtenu le contact, l'œil observé se déplace un peu, de façon que l'instrument ne soit plus exactement au point, le contact cesse. On peut ainsi obtenir des mesures d'astigmatisme tout à fait fausses, si l'œil observé se déplace entre les deux mensurations.


Fig. 36.

Cet inconvénient est en partie écarté dans le modèle de l'ophtalmomètre *Javal* et *Schioetz* que l'opticien *Kagenaar* d'Utrecht a fait construire. Il emploie une combinaison des méthodes *b*, 1 et *b*, 2, une combinaison de deux prismes très faibles formant un angle entre eux ; l'arête des prismes est en dedans.

c) Le mieux est pourtant d'employer des cristaux biréfringents. *Coccius* avait eu recours à une lame de spath ; *Javal* et *Schioetz* ont employé un prisme de *Wollaston*. Ce prisme (fig. 37) est composé de deux prismes rectangulaires en quartz, lesquels sont collés ensemble de manière à former une seule plaque plan-parallèle très épaisse. Les deux prismes sont taillés différemment dans le cristal ; l'un a l'arête parallèle à l'axe du cristal, l'autre y est perpendiculaire. Chaque rayon qui traverse le prisme est divisé en deux, et chacun de ces deux nouveaux rayons est dévié un peu, de façon qu'ils sont presque symétriques par rapport au rayon incident. — Par tous les autres systèmes que j'ai mentionnés le cône incident est divisé en deux demi-cônes qui sont un peu déplacés l'un par rapport à l'autre ; le prisme de *Wollaston* produit au contraire deux cônes entiers de moitié d'intensité.

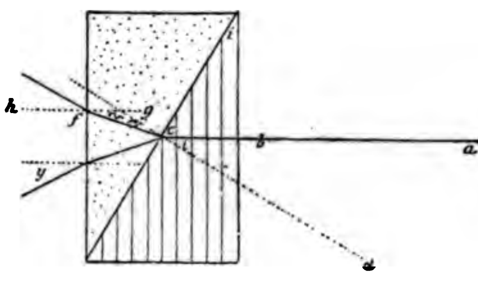


Fig. 37. — Prisme de *Wollaston*.

L'instrument de *v. Helmholtz* doit être considéré comme un instrument de laboratoire. Des savants, comme *Donders* et *Mauthner*, l'avaient employé pour mesurer quelques malades, mais son emploi était si difficile que *Mauthner* s'est écrié : « L'ophtalmométrie doit être apprise comme l'ophtalmoscopie, seulement elle est bien plus difficile. » Il exigeait en outre une chambre noire, et la mensuration complète d'une cornée ne demandait pas moins de 32 mesures. Ce n'est que par les travaux de *Javal* et *Schioetz* que l'ophtalmométrie est devenue une méthode clinique.

29. L'ophtalmomètre de Javal et Schioetz. — L'instrument (fig. 38) se compose d'une lunette qui porte un arc de cuivre mobile autour de l'axe de la lunette, et d'une têtière sur laquelle s'appuie la tête du malade ; lorsque la lunette est mise au point pour l'œil de l'observé, celui-ci se trouve au centre de l'arc. — Le long de l'arc glissent deux mires blanches, c'est la distance qui les sépare qui sert comme objet ;



Fig. 38. — L'ophtalmomètre de *Javal* et *Schioetz*.

en promenant l'une des mires sur l'arc, on fait varier la grandeur de l'objet jusqu'à ce qu'il corresponde au dédoublement du prisme, qui est constant. — La lunette possède deux objectifs achromatiques entre lesquels se trouve le prisme de Wollaston, placé de manière à dédoubler dans une direction rigoureusement parallèle au plan de l'arc. Elle est en outre munie d'un oculaire de *Ramsden* avec un fil de réticule. Chaque observateur doit commencer par mettre l'oculaire au point pour le réticule ; ensuite on met l'instrument au point pour l'œil observé, en le déplaçant en avant ou en arrière. On voit alors les images des deux mires dédoublées (fig. 39), et en déplaçant la mire de droite on obtient le contact. Ceci fait, on peut lire la distance en degrés de chaque mire à l'axe de la lunette sur la division de l'arc et la somme des deux chiffres indique la réfraction cornéenne. J'ai supposé la cornée en question sphérique, autrement il faudrait commencer par rechercher les

méridiens principaux ; mais je renvoie, pour la description de la mensuration de l'œil astigmatique, au chapitre sur l'astigmatisme.

En général, le malade doit regarder dans la lunette ; ce n'est que lorsqu'on veut aussi mesurer les parties périphériques de la cornée qu'on le fait regarder dans d'autres directions.

La division de l'arc est en degrés, mais le dédoublement est ainsi choisi que chaque degré correspond à une dioptrie. Ceci demande une explication.

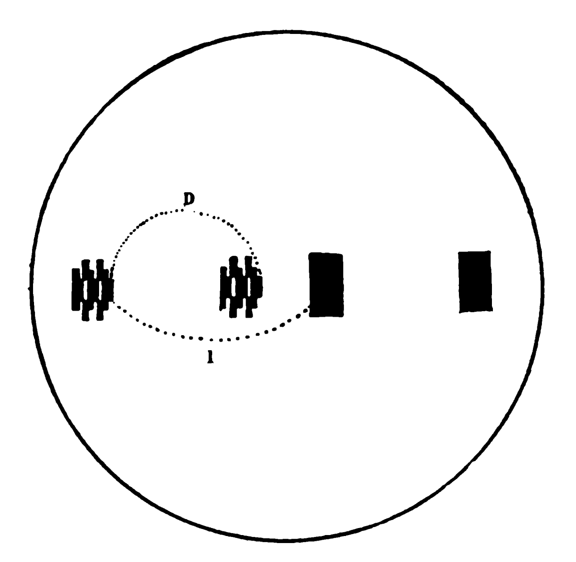


Fig. 39.
Les images (dédoublées) des mires de l'ophtalmomètre.

Javal et *Schiøtz* ont admis comme indice de l'humeur aqueuse 1,3375 (1); la force réfringente de la cornée exprimée en dioptries serait donc (v. p. 13) :

$$D = \frac{1}{F_1} = \frac{n - 1}{R} = \frac{0,3375}{R}$$

ou, en exprimant R en mètres,

$$D = \frac{337,5}{R} \qquad \text{et} \qquad R = \frac{337,5}{D}$$

Avec cette formule on calcule le tableau suivant, qui donne le rapport entre la force réfringente de la cornée, exprimée en dioptries, et le rayon exprimé en millimètres :

Réfraction.	Rayon.	Réfraction.	Rayon.	Dioptries.	Rayon.
50 D.	6mm,75	45 D.	7mm,5	40 D.	8mm,44
49 D.	6mm,89	44 D.	7mm,67	39 D.	8mm,65
48 D.	7mm,03	43 D.	7mm,85	33 D.	8mm,89
47 D.	7mm,18	42 D.	8mm,04		
46 D.	7mm,34	41 D.	8mm,23		

En mettant la valeur que nous venons de trouver pour R dans la formule

$$\frac{O}{I} = \frac{2l}{R}$$

(1) Cette valeur de *n*, très voisine de la réalité, a été choisie afin que, dans le tableau suivant, 45 D. correspondissent exactement à 7mm,5, ce qui est commode pour régler l'instrument au moyen d'une sphère type de 7mm,5.

on trouve

$$O = \frac{2lDI}{337,5},$$

formule dans laquelle I désigne l'image qui, au moment du contact, est égale au dédoublement. Désignons par *a* la longueur linéaire d'un degré; si cette longueur doit correspondre à une dioptrie, l'objet qui correspond à l'image I doit avoir la grandeur de D*a*, donc :

$$Da = \frac{2lDI}{337,5}$$

ou

$$a = \frac{2lI}{337,5}.$$

D'un autre côté, comme *a* doit avoir la longueur d'un degré, on a

$$\frac{1^\circ}{360^\circ} = \frac{a}{2\pi l}$$

donc

$$a = \frac{2\pi l}{360} = \frac{2lI}{337,5}$$

et

$$I = \pi \frac{337,5}{360} = 2^{mm},94.$$

Pour qu'un degré de l'arc corresponde à une dioptrie, le dédoublement du prisme doit donc être de $2^{mm},94$. C'est ce qui a été fait.

Le rayon de l'arc (l) a été choisi de manière à ce que la longueur linéaire d'un degré soit de 6 millimètres (5 millimètres dans le nouveau modèle).

Dans les derniers modèles de l'instrument certains détails ont été changés, mais le principe est resté le même. — Ajoutons encore que l'une des mires a une forme spéciale, « en-gradins, » dont chacun correspond à une dioptrie (pour la mesure de l'As.). — Un disque kératoscopique permet d'étudier la forme générale de la cornée.

Partie utilisée de la cornée. — Ce n'est qu'une toute petite partie de la cornée qui est utilisée pour la mensuration. En faisant la construction de la manière indiquée page 7, on voit que les images des mires se forment par réflexion sur deux petites parties de la cornée, situées à environ $1^{mm},2$ de la ligne visuelle.

En tournant l'arc, ces deux parties se meuvent en décrivant un anneau concentrique à la ligne visuelle. Cet anneau est la seule partie de la cornée qui envoie de la lumière dans l'objectif et par conséquent aussi la seule partie sur laquelle l'instrument peut donner des renseignements. Les parties situées en dehors ou en dedans de cet anneau pour-

raient avoir des courbures tout autres que celles indiquées par l'instrument. Admettons un instant que nous ayons à faire à une cornée conique (hyperbolique) : ce qu'on mesurerait serait le rayon BG du cercle BE (fig. 40), qui touche la surface de la cornée en B et en E

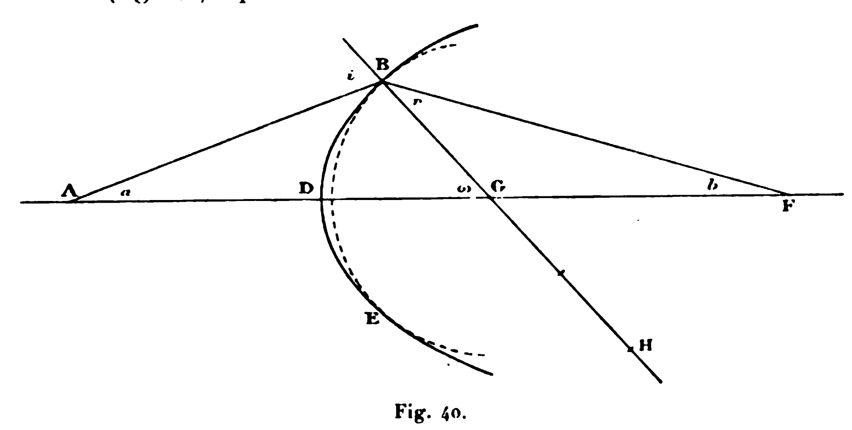


Fig. 40.

(v. p. 13). En général, ce cercle coïncide assez bien avec la partie « optique » de la cornée ; mais, si l'on veut faire des mensurations très exactes, il faut toujours tenir compte de cette source d'erreurs.

Exactitude des mensurations. — Avec un bon éclairage un observateur un peu exercé ne se tromperait pas facilement d'un quart de dioptrie, ce qui correspond à peu près à $\frac{1}{20}$ de millimètre d'erreur pour le rayon. On ne peut donc pas avoir une confiance absolue dans la deuxième décimale de la mesure du rayon. C'est à peu près au même résultat que sont arrivés MM. *Donders* et *Hamer* en travaillant avec l'ophtalmomètre de *v. Helmholtz*. — On peut obtenir des résultats encore plus exacts en employant des mires translucides qu'on éclaire par derrière avec des lampes électriques. Dans ces conditions, un observateur habile peut presque garantir l'exactitude à un dixième de dioptrie près.

30. Résultats de la mensuration de la cornée. — Le rayon de la cornée (au sommet) varie entre 7 millimètres et $8^{mm},5$. Il est extrêmement rare de trouver une cornée dont le rayon n'est pas situé entre ces limites, excepté dans les cas de kératocône.

La courbe (fig. 41) montre la répartition des différentes courbures chez un certain nombre d'hommes (emmétropes) que j'ai examinés en collaboration avec le docteur *Bourgeois*. La moyenne était de 43,1 D. = $7^{mm},8$. Il est pourtant à remarquer que ces mensurations mêmes montrent que le rayon est plus grand chez des personnes de haute

taille et d'une forte circonférence de la tête (1). Or, les personnes que nous avons mesurées étaient justement de forte taille (*cuirassiers*). Il peut donc se faire que la moyenne du rayon soit un peu plus petite que celle que je viens d'indiquer. — Ce serait une erreur de croire qu'un rayon correspond à l'emmétropie plutôt qu'un autre. Comme dit M. *Javal*, un éléphant et une souris peuvent bien être emmétropes tous les deux, malgré que leurs rayons cornéens doivent nécessairement être très différents. — Il semble qu'on puisse exprimer la chose en disant que,

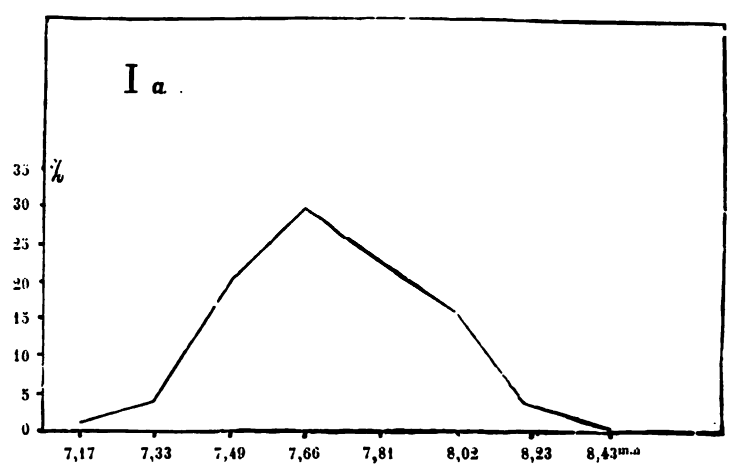


Fig. 41. — Les abscisses indiquent les rayons de courbure de la cornée en millimètres, les ordonnées le nombre pour cent d'emmétropes chez lesquels on rencontre le rayon de courbure en question.

dans l'œil emmétrope, il existe un rapport constant entre le rayon de courbure de la cornée et la longueur de l'axe oculaire, de sorte que la coque oculaire des différents yeux emmétropes serait toujours une reproduction du même type un peu agrandi ou un peu diminué. — L'existence de la myopie et de l'hypermétropie de courbure (cornéenne) n'est pas encore démontrée (2), excepté peut-être pour certains cas d'hypermétropie très forte, qui se rapprochent de la microphtalmie; mais leur existence est hors de doute.

Si j'excepte les cas d'astigmatisme différent aux deux yeux, il est très rare de trouver une différence tant soit peu notable entre la réfraction cornéenne des deux yeux d'une même personne, même dans les cas d'anisométropie. Parmi les cuirassiers cités ci-dessus, il n'y avait pas

(1) *Steiger* a depuis trouvé un rapport encore plus évident entre les rayons des cornées et l'écartement des yeux.

(2) Voir pourtant la communication de *Sulzer*, au Congrès de la Société française d'ophtalmologie, 1896.

plus de 2 p. 100 qui présentassent entre les deux yeux une différence dépassant une demi-dioptrie.

Examen de la partie périphérique de la cornée. — Jusqu'à l'époque où *Javal* et *Schioetz* ont fait de l'ophtalmométrie une méthode clinique, on ne connaissait pas bien la forme de la cornée. L'ophtalmomètre de *v. Helmholtz* étant trop compliqué pour qu'on pût faire beaucoup de mensurations, on se bornait á mesurer trois points d'un méridien, celui qui correspond à la ligne visuelle et un autre à quelque distance, de chaque côté. Comme on trouvait les rayons périphériques plus grands que le rayon central et que, par conséquent, la cornée ne pouvait pas être considérée comme une sphère, on calculait la courbe du second degré qui se rapprochait le plus du méridien mesuré (v. fig. 42). C'est ainsi que s'est répandue l'idée que la forme de la cornée (non astigmate) serait celle d'un ellipsoïde de révolution autour du grand axe, lequel axe serait dirigé en dehors de la ligne visuelle et formerait un angle d'environ 5° (α) avec cette ligne. Cette idée s'écarte beaucoup de la réalité ; la cornée ne ressemble pas à un ellipsoïde. Dès le début, *v. Helmholtz* avait insisté sur la défectuosité de cette assimilation.

Après la construction des ophtalmomètres modernes il devenait beaucoup plus facile d'étudier cette question. Le second modèle d'ophtalmomètre de *Javal et Schioetz* est muni d'un très grand disque kératoscopique, divisé de cinq en cinq degrés par des anneaux concentriques. Après avoir fait la mesure ordinaire, pendant laquelle le malade regarde le centre de l'objectif, on répète la mensuration en le faisant regarder 5° à gauche, 10° à gauche, etc. ; et, après avoir ainsi mesuré la moitié droite du méridien horizontal, on en mesure la moitié gauche. De même pour le méridien vertical. — Des mensurations de ce genre ont été exécutées à Paris par *Sulzer* et par *Eriksen* (fig. 42) ; elles ont confirmé l'assertion d'*Aubert* et de *Matthiesen* qui, travaillant avec l'ophtalmomètre de *v. Helmholtz*, avaient dit qu'on peut partager la cornée en deux parties, l'une centrale, qui est approximativement sphérique et qu'on désigne sous le nom de *partie optique*, et l'autre périphérique, ou *partie basale*, qui est fortement aplatie. *Eriksen* compte comme appartenant à la partie optique la partie dont la réfraction ne diffère pas de plus d'une dioptrie de la réfraction centrale. Son étendue varie un peu dans les différents yeux. Voici, d'après *Eriksen*, les limites de la partie optique, comparées à celles de la cornée entière.

	Partie optique.	Cornée.
En dehors	16°,5	44°,7
En dedans	14°	40°,1
En haut	12°,5	38°,5
En bas	13°,5	42°,2

Les chiffres sont des moyennes de mensurations faites sur 24 yeux.

L'étendue totale de la cornée n'est donc pas beaucoup inférieure à 90° et celle de la partie optique est d'environ 30°, soit un tiers de l'étendue totale. Le diamètre horizontal, aussi bien celui de la partie optique que

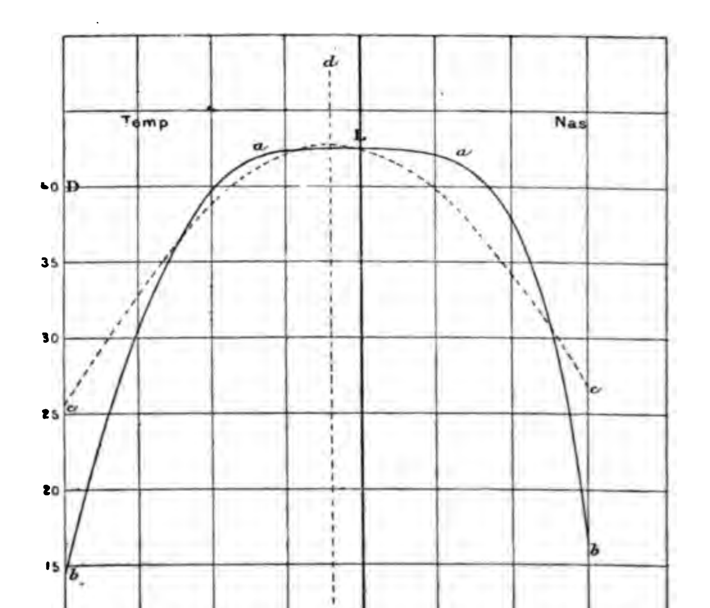


Fig. 42. — Diagramme de la réfraction cornéenne d'après *Eriksen*. — Les abscisses indiquent la distance de la ligne visuelle en degrés, les ordonnées la réfraction cornéenne en dioptries.
La courbe pleine indique la réfraction du méridien horizontal d'une cornée gauche, mesurée de cinq en cinq degrés. Le zéro correspond à la ligne visuelle. — *aa*, partie optique de la cornée ; *ab*, *ab*, partie basale. — La courbe pointillée *cc* correspond à l'ellipsoïde calculé d'après les trois mesures prises à 0° et à 25° à droite et à gauche de la ligne visuelle ; *dd* est l'axe de cet ellipsoïde et la distance de cette ligne à zéro correspond à l'angle qu'on désigne souvent comme angle α. — On voit que la forme véritable de la cornée s'écarte considérablement de l'ellipsoïde.

celui de la cornée entière, est un peu plus grand que le diamètre vertical.

Ni *Sulzer* ni *Eriksen* n'ont trouvé d'axe de symétrie proprement dit. Néanmoins, la plupart des diagrammes de ce dernier montrent une tendance à la symétrie autour d'un axe dirigé à environ 5° en dehors et un peu en bas de la ligne visuelle. Si donc on persiste à l'assimilation à un ellipsoïde, il faut se le figurer bien plus pointu qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, et il faut se figurer le sommet enlevé par une section perpendiculaire sur l'axe et remplacé par une calotte sphérique.

Pour l'optique de l'œil, l'obliquité de la cornée ne joue qu'un rôle peu important, puisque la partie optique de la cornée est presque sphérique. Cette partie correspond à un diamètre linéaire d'environ 4^{mm}. Lorsque

la pupille est grande, la partie basale peut donc jouer un certain rôle ; suivant le petit tableau d'*Eriksen*, ce serait surtout en dedans et en haut que son influence se ferait sentir. Mais il est impossible de rien en savoir sans avoir examiné chaque œil en particulier, car l'obliquité de la cornée est souvent compensée par l'excentricité de la pupille. La position de la pupille varie beaucoup dans les différents yeux. *Sulzer* a trouvé qu'en moyenne le centre de la pupille se trouve à 5° en dehors de la ligne visuelle, et qu'elle est tantôt déplacée en haut, tantôt en bas. Cette décentration de la pupille peut donc surcompenser l'obliquité de la cornée, de façon que c'est surtout en dehors qu'on doit s'attendre à remarquer l'effet de l'aplatissement périphérique.

La partie basale est moins régulière et moins bien polie que la partie centrale, ce qui explique en partie le peu de succès des iridectomies optiques. Les images catoptriques ont souvent un aspect diffus et les mesures ophtalmométriques laissent à désirer. Aussi *Eriksen* a-t-il essayé d'obtenir une idée de la variation du rayon des parties périphériques en examinant la forme que prend l'image d'un carré blanc dans le méridien horizontal, à différentes distances de la ligne visuelle.

On voit sur la figure 43 que l'image s'allonge de plus en plus, jusqu'à environ 30° de la ligne visuelle, où elle est deux fois et demie plus

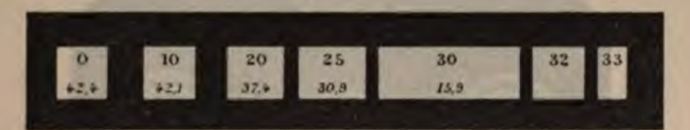


Fig. 43. — Formes de l'image d'un carré blanc à différents endroits de la cornée (méridien horizontal, moitié interne), d'après *Eriksen*. — Les chiffres placés en haut indiquent la distance en degrés de la ligne visuelle, ceux en bas la réfraction (dans le méridien horizontal) en dioptries.

grande qu'au centre : tout à fait vers la périphérie, l'image se rétrécit et finit comme un rectangle placé debout ; à cet endroit, l'image se dédouble quelquefois ; il se forme une deuxième image encore plus loin, sur la limite vers la sclérotique, et cette image est renversée dans la direction horizontale, mais non dans la direction opposée. Ces derniers phénomènes indiquent que la courbure augmente très fortement vers le bord et qu'au delà de cet endroit il se trouve, au moins dans certains yeux, une concavité, comme un sillon qui sépare la cornée de la sclérotique. Il est à remarquer que les images devraient augmenter un peu en hauteur vers la périphérie, en même temps qu'elles augmentent en largeur, parce que la courbure diminue aussi dans le sens vertical, mais bien moins que dans le sens horizontal. Cette augmentation n'est pas indiquée sur la figure.

D'une manière générale, nous pouvons donc considérer la partie de la cornée qui joue un rôle pour l'optique de l'œil comme sphérique, et l'angle α, pris dans le sens qu'on admet en général, perd son importance. — C'est pourquoi j'ai défini l'angle α comme étant l'angle entre la ligne visuelle et l'axe optique de l'œil, définition qu'on en a aussi donnée.

Remarquons encore que la cornée normale est légèrement astigmate ; nous réservons à cette anomalie de réfraction un chapitre spécial.

Le rayon de la cornée normale ne descend pas au-dessous de 7^{mm}, mais dans les cas de kératocône on peut rencontrer des rayons de 6^{mm}, de 5^{mm}, ou même des rayons encore plus petits, au point que l'arc de l'ophtalmomètre devienne trop court : on ne peut pas écarter les mires assez pour obtenir le contact. Les images des mires prennent dans ce cas, comme aussi lorsqu'il y a des taies, des formes irrégulières.

Examen avec le disque kératoscopique. — La mensuration des parties périphériques de la cornée exige trop de temps pour qu'on puisse l'employer dans les cliniques, mais on peut obtenir des renseignements sur



Fig. 44. — Images kératoscopiques d'une cornée présentant un astigmatisme considérable à la partie centrale (anneau central de la figure C), tandis que le reste de la cornée en est presque exempt. D'après *Javal*. — C, regard direct ; H, regard en haut ; B, en bas ; D, à droite ; G, à gauche.

les parties périphériques de la cornée au moyen du disque kératoscopique, un disque circulaire sur lequel sont peints des cercles concentriques de différentes couleurs. On peut le placer sur la lunette de l'ophtalmomètre, en enlevant le prisme biréfringent, ou simplement le tenir à la main en regardant à travers une ouverture centrale (*Placido*).

En général, le malade regarde vers le milieu du disque ; les images des cercles sont alors circulaires dans un œil normal, allongées suivant le



Fig. 45. — Figures kératoscopiques d'un cas analogue à celui de la figure 44. D'après *Javal*.



Fig. 46. — Figures kératoscopiques d'un cas de kératocône. D'après *Javal*.

méridien le moins réfringent dans l'œil astigmate ; en faisant regarder le malade vers le bord du disque, il est facile de constater l'aplatissement périphérique de la cornée.

Dans les cas d'astigmatisme irrégulier les cercles prennent des formes irrégulières, et on peut parfois, en étudiant ces formes, obtenir des renseignements importants sur l'anomalie en question. — Les figures 44 et 45 montrent ainsi l'aspect du disque dans des cas dans lesquels la partie centrale de la cornée était affectée d'un astigmatisme prononcé, tandis que les zones moyennes n'en avaient guère ; on voit en effet que l'anneau central de la figure C, qui correspond au milieu de la cornée, est fortement allongé, tandis que les anneaux plus périphériques sont presque circulaires. — Dans les cas de kératocône, l'image du disque est très petite lorsqu'elle se forme au sommet de la cornée, mais la moindre déviation du regard la fait changer de forme en l'allongeant dans la direction radiaire (fig. 46).

31. Mensuration de l'angle α. — Pour les mensurations suivantes j'emploie l'ophtalmophakomètre (fig. 47, v. p. 42). Je désigne par A le

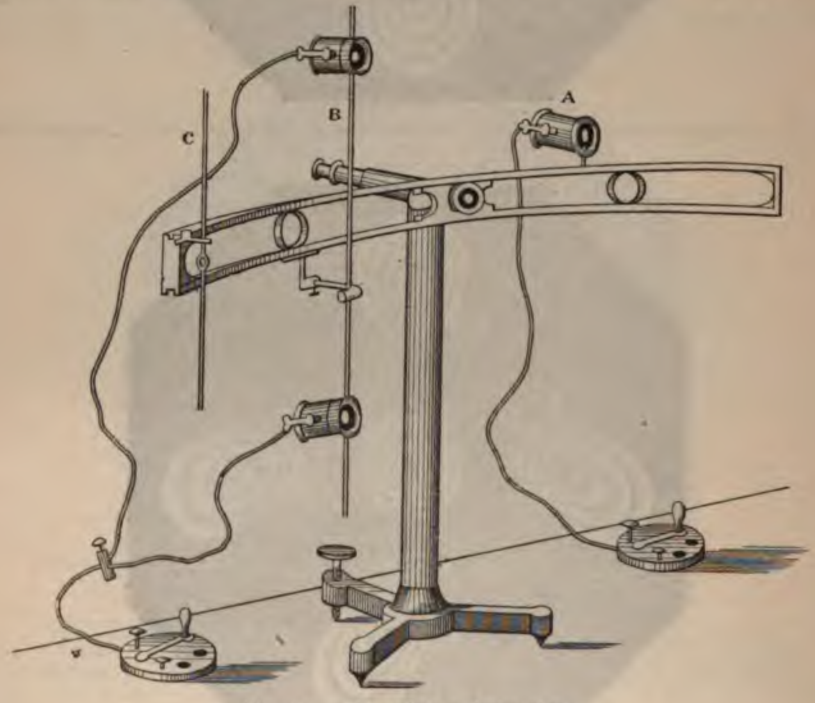


Fig. 47. — L'ophtalmophakomètre.

curseur qui ne porte qu'une lampe, par B celui qui en porte deux placées sur une même verticale, et par C le troisième curseur qui porte une tige sur laquelle glisse une petite boule brillante qui sert de point de fixation.

Je place l'arc horizontalement et le curseur B au zéro de la division

de l'arc (1), de sorte que ses deux lampes se trouvent dans le même plan vertical que le milieu de l'objectif de la lunette, et je prie l'observé de regarder vers ce dernier endroit. Il est clair que, si les surfaces de l'œil étaient centrées autour de la ligne visuelle, on devrait, dans ces circons-



Fig. 48. — Les images de Purkinje observées avec l'ophtalmophakomètre. Les deux lampes B, figure 47, se trouvent dans le même plan vertical que l'axe de la lunette et l'observé regarde à 5°,7 du côté nasal, de manière à aligner les images. L'axe optique de l'œil coïncide dans ces circonstances avec l'axe de la lunette.

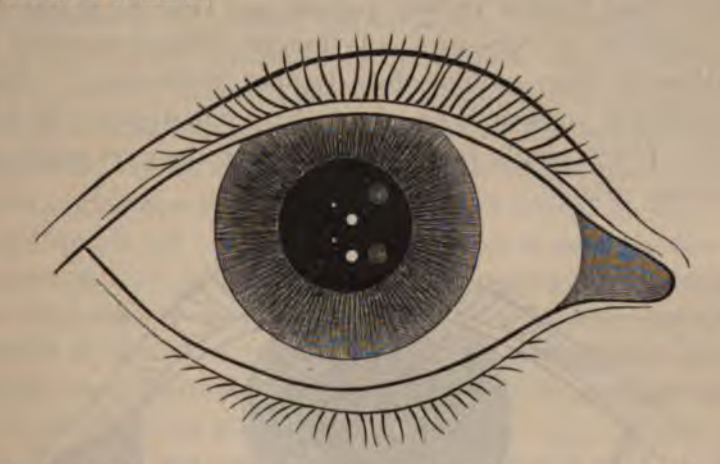


Fig. 49. — Position des images lorsque l'observé regarde dans la lunette. La position des lampes est la même que dans la figure 48. Au milieu les images cornéennes, à droite celles de la cristalloïde antérieure, à gauche celles de la cristalloïde postérieure. Les images de la surface postérieure de la cornée ne sont pas visibles.

tances, voir les six images de réflexion sur une même verticale (fig. 48) (celles de la surface postérieure de la cornée ne sont pas visibles dans ces conditions). Mais cela n'a jamais lieu.

On voit toujours, comme dans la figure 49, les images de la cristalloïde

(1) La lampe du curseur A ne sert pas dans cette expérience.

antérieure d'un côté, celles de la cristalloïde postérieure de l'autre, et les images cornéennes au milieu. Je prie alors l'observé de fixer la boule brillante du curseur C, et je déplace ce curseur jusqu'à ce que je voie



Fig. 50. — Les deux lampes se trouvent dans le même plan horizontal que l'axe de la lunette. Regard dans la lunette.

les images placées comme sur la figure 48. L'axe optique de l'œil se trouve alors dans le plan vertical passant par l'axe de la lunette, et la distance angulaire du curseur C à la lunette indique combien la ligne visuelle dévie de l'axe optique dans le plan horizontal. — On trouve qu'il faut placer le curseur C du côté nasal, à une distance de la lunette variant entre 4 et 7° (angle α). — On peut déterminer cet angle avec une exactitude très grande.

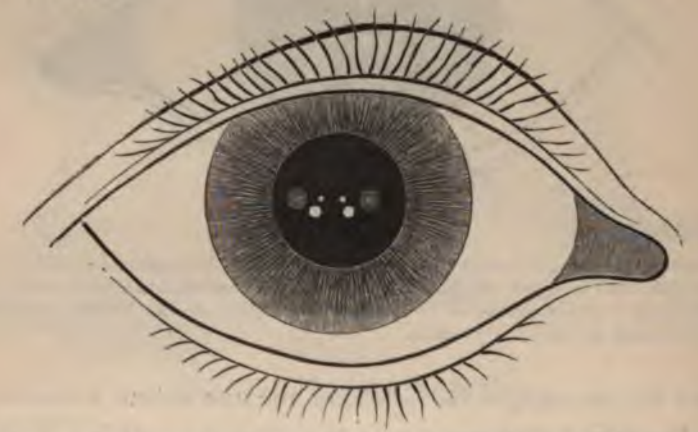


Fig. 51. — Défaut de centrage ; il est impossible d'aligner les six images.

Je place ensuite l'arc verticalement, de façon que les deux lampes se trouvent dans un plan horizontal : en général, les six images ne se trouvent pas sur une ligne horizontale (fig. 50) ; en déplaçant le curseur C,

que fixe l'observé, jusqu'à ce que je voie toutes les images sur une ligne horizontale, je détermine la déviation verticale de la ligne visuelle.

L'axe optique est presque toujours dirigé en dehors de la ligne visuelle et le plus souvent en bas (2 à 3°) ; quelquefois on le trouve pourtant dans le même plan horizontal, ou dévié un peu en haut.

Défaut de centrage. — On remarque quelquefois qu'il n'est pas possible de placer les six images sur une droite (fig. 51). On arrive à aligner deux paires, celles qu'on veut, mais la troisième reste en dehors. Ceci a lieu lorsque l'œil n'est pas exactement centré, c'est-à-dire lorsque l'axe du cristallin ne passe pas par le centre de courbure de la cornée (dont je néglige la surface postérieure). On peut presque toujours constater des petits défauts de cette sorte, mais le plus souvent ils sont négligeables. Lorsqu'on trouve des défauts plus considérables, c'est le plus souvent que l'axe du cristallin passe un peu (jusqu'à $0^{mm},25$) au-dessus du centre de courbure de la cornée.

32. Détermination de la position des surfaces internes. — Pour mesurer les rayons des surfaces, il faut déterminer : 1° la *position* (la distance au sommet de la cornée) des surfaces ; 2° la *position* des centres. Il est vrai qu'il existe, comme nous le verrons, un moyen pour déterminer les rayons directement, mais il ne faut pas oublier que toutes les grandeurs que nous mesurons ici sont des grandeurs apparentes et que, pour trouver les valeurs réelles, il faut réduire les résultats par un calcul, suivant les règles que nous avons données ci-dessus (p. 39). Pour faire cette réduction, il est nécessaire de connaître la *position* des surfaces, connaissance qui est également nécessaire pour pouvoir combiner les surfaces entre elles, pour parvenir à calculer le système optique entier.

Je prends la surface antérieure du cristallin comme exemple et je suppose que nous fassions la mensuration dans le méridien horizontal. Il est utile de dilater la pupille.

Je place l'arc de l'instrument horizontalement et je mets aussi loin que possible de la lunette le curseur A, dont la lampe doit être assez brillante pour que l'image de la surface à mesurer soit bien visible. Ceci fait, je mets le curseur C, qui porte la marque de fixation, à un endroit tel que l'axe optique de l'œil soit bissecteur de la distance angulaire entre la lunette et A (1). Il faut donc préalablement avoir mesuré

(1) Si l'œil n'est pas centré, il faut remplacer l'axe optique par la ligne passant par le centre de courbure de la cornée et le centre de la surface qu'on veut mesurer. On trouve cette ligne comme nous trouvions l'axe optique dans l'expérience précédente, en alignant les images cornéennes avec les images de la surface à mesurer.

l'angle α. On déplace ensuite le curseur B, dont les lampes doivent être très faibles, de manière à ce qu'on n'en voie que les images cornéennes, jusqu'à ce que l'image cristallinienne de A se trouve exactement sur la même verticale que les images cornéennes de B. En jetant un coup d'œil sur la figure 52, il est facile de voir que nous possédons maintenant les éléments nécessaires pour calculer la distance de la

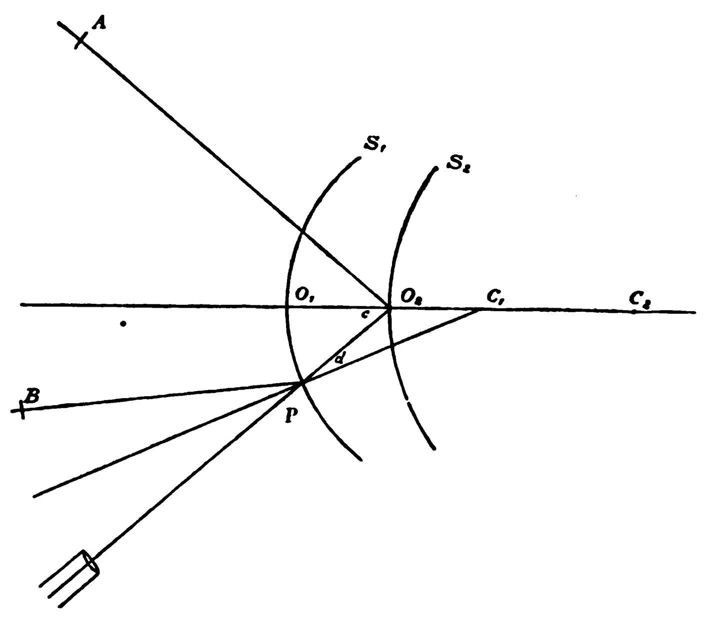


Fig. 52. — Méthode pour déterminer la *position* d'une surface interne de l'œil. — S_1, surface antérieure de la cornée; C_1, son centre; S_2, surface antérieure du cristallin; C_2, son centre; C_1, C_2, axe optique de l'œil.

cristalloïde antérieure au sommet de la cornée, car l'angle *c* est la moitié de la distance angulaire de A à la lunette et l'angle *d* est la moitié de la distance angulaire (1) de B à la lunette. En admettant que nous connaissions le rayon de la cornée R_1, qu'il faut avoir mesuré préalablement, le triangle O_2C_1P nous donne la relation $O_2C_1 = R_1 \frac{\sin d}{\sin c}$, et on a, pour la distance cherchée,

$$O_1O_2 = R_1 - O_2C_1 = R_1\left(1 - \frac{\sin d}{\sin c}\right) = R_1 \frac{\sin c - \sin d}{\sin c}.$$

Si l'on ne tient pas à une très grande exactitude, on peut remplacer les sinus par les arcs.

Exemple. — Soit le rayon de la cornée $7^{mm},98$, la distance de A à la lunette 28° nasal, celle de B 16°,8 nasal; on aura $O_1O_2 = 7{,}98\left(1 - \frac{\sin 8^\circ{,}4}{\sin 14^\circ}\right) =$

(1) On peut se figurer les deux lampes de B réunies en une seule, à la hauteur de la lampe de A.

$3^{mm},16$. La profondeur apparente de la chambre antérieure serait donc $3^{mm},16$, d'où l'on tire la vraie valeur $3^{mm},73$ en mettant dans la formule $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$, $F_1 = 23,64$, $F_2 = 31,61$, $f_1 = -3,16$.

33. Détermination des centres des surfaces internes. — On place A au-dessus de la lunette et on éloigne C avec la marque de fixation aussi loin que possible de la lunette, sans que l'image disparaisse derrière l'iris ; après quoi, on déplace B, jusqu'à ce que les images cornéennes de ses deux lampes se trouvent sur la même verticale que l'image cristallinienne de A.

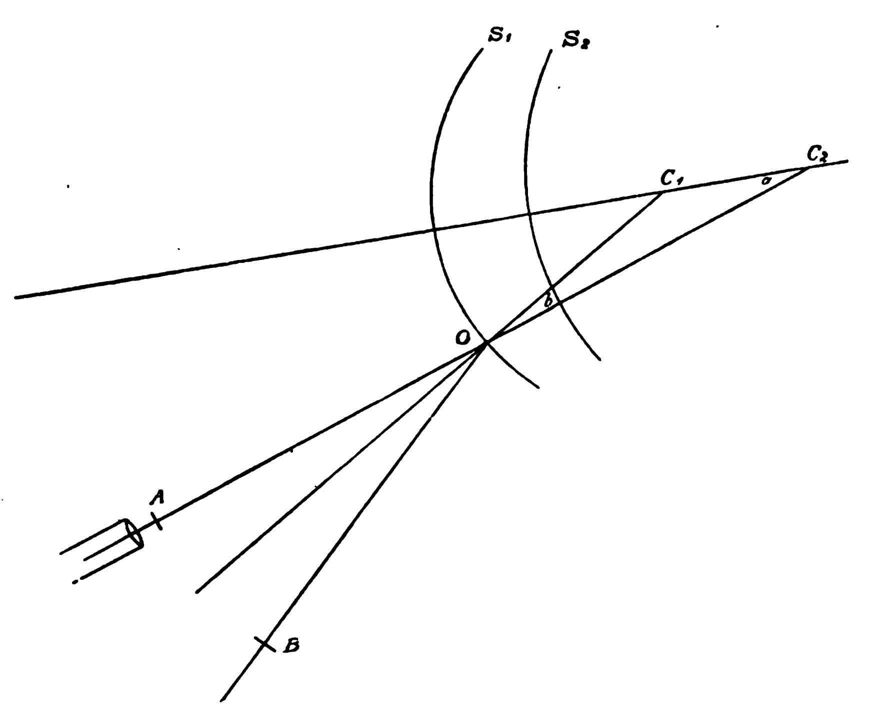


Fig. 53. — Méthode pour déterminer la position du centre d'une surface interne de l'œil. La signification des lettres est la même que dans la figure 52.

Dans ces conditions, l'axe de la lunette est normal à la surface antérieure apparente du cristallin (1). On trouve l'angle a (fig. 53) en ajoutant (soustrayant) l'angle α à la distance angulaire de C à la lunette. L'angle b est la moitié de la distance de B à la lunette ; on a $C_2 C_1 = R_1 \frac{\sin b}{\sin a}$ et la distance cherchée égale à $R_1 \left(1 + \frac{\sin b}{\sin a}\right) = R_1 \left(\frac{\sin a + \sin b}{\sin a}\right)$.

(1) Si l'on se figure la lampe placée au centre de l'objectif, le rayon qui arrive à l'œil observateur serait réfléchi exactement sur lui-même, ce qui ne peut avoir lieu que s'il rencontre normalement la surface apparente.

Exemple. — Soit, dans le même œil que tout à l'heure, $\alpha = 5°,1$, la distance de B à la lunette $12°,4$ temporal et celle de C à la lunette $9°,9$ nasal. On aura alors pour la distance cherchée $7,98\left(1 + \frac{\sin 6°,2}{\sin 4°,8}\right) = 18^{mm},28$ et le rayon apparent serait $18^{mm},28 - 3^{mm},16 = 15^{mm},12$. La position du centre réel serait $13^{mm},78$ et le rayon de la surface réelle $13^{mm},78 - 3,73 = 10^{mm},05$.

34. Détermination directe des rayons. — Dans la figure 49, ainsi que dans les figures 50 et 51, le rapport entre les distances séparant les deux images de même espèce est égal au rapport entre les rayons (apparents). On peut en effet considérer la distance séparant les deux lampes comme un objet dont il se forme trois images dans la pupille ; ces images sont proportionnelles aux rayons suivant la formule $\frac{O}{I} = \frac{2l}{R}$, puisque O et l sont les mêmes dans les trois cas.

On peut faire d'assez bonnes mesures des rayons si l'on dispose de deux curseurs pareils à A et de deux autres pareils à B. On place les lampes A de manière à pouvoir bien observer les images produites par la cristalloïde antérieure. Ensuite on déplace les curseurs B, dont les lampes doivent être faibles, jusqu'à ce que les images cornéennes des lampes de chacun se trouvent sur la même droite que l'une des images cristalliniennes de A. On considère la distance qui sépare les curseurs A comme objet pour la cristalloïde antérieure, et celle séparant les curseurs B comme objet pour la cornée. Comme les images sont pareilles, les rayons doivent être inversement proportionnels aux objets. Connaissant le rayon de la cornée, on peut donc calculer le rayon apparent de la cristalloïde antérieure.

Pour déterminer l'astigmatisme de la surface, il faudrait répéter toutes les mesures dans le méridien vertical.

La cristalloïde postérieure se mesure absolument comme la cristalloïde antérieure. Quant à la surface postérieure de la cornée, son image n'est pas visible au milieu de la pupille. On doit donc se borner à en mesurer les parties périphériques. La détermination directe de la position de la surface, suivant la méthode indiquée dans le paragraphe 32, n'est pas applicable pour la même raison, mais on peut déterminer la position du centre d'après le paragraphe 33 et la longueur du rayon comme nous venons de l'indiquer, ce qui donne indirectement l'épaisseur de la cornée. Il faut préalablement avoir mesuré le rayon de la surface antérieure de la cornée à l'endroit où l'on fait la mensuration, car en général cet endroit est si périphérique que l'aplatissement de la cornée se fait sentir. La surface postérieure subit du reste vers la périphérie un aplatissement

analogue à celui de la surface antérieure, de façon que le rapport entre les rayons des deux surfaces semble à peu près le même partout.

35. Remarques générales. — On peut donc ainsi mesurer sur le vivant toutes les constantes optiques, excepté les indices. Mais il ne faut pas se faire d'illusions sur l'exactitude de ces mensurations ; excepté celles de la surface antérieure de la cornée, elles ne sont pas très exactes. En effet, les images cristalliniennes sont faibles et celles de la cristalloïde antérieure très diffuses, ce qui fait que la mensuration devient moins certaine ; il y a aussi d'autres sources d'erreurs, telles que celle faite en assimilant les surfaces à des surfaces sphériques. Il peut arriver aussi que l'œil observé ne fixe pas exactement au moment de l'observation. Lorsqu'on veut déterminer, par exemple, le rayon de la cristalloïde antérieure, on se base sur trois mesures, celle du rayon de la surface antérieure de la cornée, celle de la position de la cristalloïde antérieure et celle de la position de son centre. Les erreurs de ces mesures viennent s'ajouter dans le résultat. Je ne crois donc pas qu'on puisse garantir une exactitude de plus d'un demi-millimètre dans le résultat final. Pour l'optique de l'œil, ce défaut d'exactitude ne présente pas une importance considérable. Il ne faut pas oublier, en effet, que la différence d'indice des milieux que séparent les surfaces internes est très faible, ce qui fait qu'il n'est pas nécessaire de connaître leurs rayons très exactement ; une erreur d'un demi-millimètre dans la mesure de la surface antérieure de la cornée correspond à environ 3D., tandis que la même erreur dans la mesure de la cristalloïde antérieure ne correspond qu'à un tiers de dioptrie. — Mais, pour l'épaisseur du cristallin, qui n'est que de 4 millimètres, une erreur d'un demi-millimètre présente une importance énorme. La question, très débattue, de savoir si le cristallin change d'épaisseur pendant l'accommodation pourra difficilement se décider par l'observation des images cristalliniennes, car le prétendu changement (une augmentation de $0^{mm},4$) ne dépasse pas la limite d'erreur.

L'ophtalmométrie de la cornée a franchi les portes des laboratoires et s'est introduite dans les cliniques, où elle rend tous les jours de grands services. On pourrait donc se demander si la mensuration des surfaces internes ne pourrait pas aussi trouver une application clinique. Il existe en effet souvent, entre l'astigmatisme indiqué par l'ophtalmomètre et l'astigmatisme subjectif, des écarts dont il est très naturel de chercher la cause dans les surfaces internes et qu'on pourrait espérer déceler par ces méthodes. J'ai fait quelques mensurations de cette sorte, mais je ne crois pas qu'elles aient un grand avenir. Elles sont toujours très compliquées : il faudrait, en effet, mesurer le rayon de chaque surface au

moins dans deux méridiens, et, comme chaque rayon exige deux déterminations (de la surface et du centre), cela ferait déjà douze mesures; il faudrait ensuite calculer les valeurs réelles, en déduire l'astigmatisme de chaque surface et à la fin combiner ces astigmatismes avec celui de la surface antérieure de la cornée. C'est déjà assez compliqué et cela le devient plus encore si, comme il est probable, les méridiens des surfaces internes ne coïncident ni entre eux ni avec ceux de la surface antérieure de la cornée. — Il est vrai qu'il serait possible de simplifier les méthodes pour l'application pratique et de remplacer les calculs par des approximations, mais je ne pense pas que le résultat en vaille la peine, d'autant plus qu'il est probable que souvent on ne trouverait pas ce qu'on cherche, l'explication des écarts entre l'ophtalmométrie et l'astigmatisme subjectif, car ces écarts sont probablement souvent dus à ce que les parties périphériques de la cornée ont un astigmatisme autre que celui des parties centrales qu'on mesure avec l'ophtalmomètre.

Bibliographie. — Aubert (H.). *Pflüger's Archiv*. Bd. 35, p. 597, 1885. — Javal (E.). *Mémoires d'ophtalmométrie*. Paris, 1890. — Sulzer (D.). *La forme de la cornée humaine et son influence sur la vision. Arch. d'opht.*, 1891. — Eriksen. *Hornhindemaalinger* (Danois). Aarhus, 1893. — Tscherning (M.). *Beitraege zur Dioptrik des Auges (Zeitschrift fur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, III, p. 429).

CHAPITRE V

CERCLES DE DIFFUSION SUR LA RÉTINE

36. Définition. — En recevant sur un écran l'image d'un point lumineux éloigné et en déplaçant l'écran en avant ou en arrière, on voit qu'il n'y a qu'une seule position où il se forme une image nette du point. Dans toute autre position on voit sur l'écran une tache lumineuse de la même forme que l'ouverture de la lentille, tache d'autant plus grande qu'on s'éloigne davantage de l'image nette. Cette tache lumineuse porte le nom de *cercle de diffusion*.

Il en est de même dans l'œil avec cette différence que, ne pouvant pas avancer ou reculer la rétine, on avance ou recule le point lumineux, ce qui revient au même. La forme ronde de l'image de diffusion tient à la forme ronde de la pupille; si l'on regarde, par exemple, à travers une ouverture triangulaire et plus petite que la pupille, l'image de diffusion est triangulaire et ne porte que bien improprement le nom de *cercle de diffusion*.

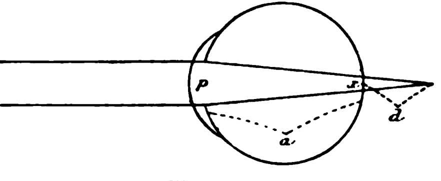


Fig. 54.

La grandeur des cercles de diffusion est facile à calculer (fig. 54). Si l'on désigne le diamètre de la pupille (de sortie) par p, sa distance à la rétine par a et la distance de l'image nette à la rétine par d, on a pour le diamètre du cercle de diffusion l'expression

$$x = p \frac{d}{d + a}.$$

Si, au lieu d'un point lumineux, on observe un objet dont l'image se forme en avant ou en arrière de la rétine, chaque point de l'objet produit sur cette membrane un cercle de diffusion qui est couvert par le cercle voisin, excepté près des bords de l'image diffuse. Il se forme ainsi autour du contour de l'objet une bordure dont la largeur est égale à la moitié du

diamètre d'un cercle de diffusion et dont l'intensité diminue vers la périphérie. L'objet est donc vu un peu agrandi et avec des bords mal définis.

37. Ligne de visée. — Lorsqu'on fait acte de viser, on cherche à faire coïncider deux points situés à différentes distances ; comme on ne peut voir qu'un seul point nettement à la fois, il est généralement admis qu'on fait coïncider l'image de l'un des points avec le centre du cercle de diffusion de l'autre. Or, le centre du cercle de diffusion correspond au milieu de la pupille ; il faudrait donc placer le deuxième point sur la ligne qui joint le point fixé au centre de la pupille apparente, ligne qu'on a désignée comme *ligne de visée*. Ce raisonnement est sujet à caution. En effet, pour pouvoir viser, il faut voir le deuxième point assez nettement, ce qui exige qu'il ne soit pas trop éloigné, optiquement, du point fixé. Le cercle de diffusion du point de visée est donc si petit qu'on ne commet qu'une erreur très faible en le considérant comme un point. Il est aussi à remarquer que la règle d'après laquelle le cercle de diffusion aurait partout la forme de la pupille n'est pas rigoureuse. A cause de l'astigmatisme et des autres irrégularités de l'œil, il existe, comme nous le verrons au chapitre x, presque toujours une partie en avant et en arrière du foyer, où le cercle de diffusion est loin d'avoir la forme de la pupille ; il prend des formes plus ou moins irrégulières et la lumière n'y est pas non plus distribuée d'une manière régulière. En visant on fait alors coïncider l'image du point fixé avec la partie la plus brillante du cercle de diffusion, laquelle n'a rien à faire avec le centre de la pupille. Pour ne pas compliquer la terminologie, il vaudrait donc mieux faire disparaître l'expression de *ligne de visée*.

38. L'accommodation. — On sait que l'œil peut changer sa *mise au point*, s'adapter pour des distances plus petites que celle pour laquelle il est adapté en état de repos. Tenant un livre à 50 centimètres et plaçant un voile entre le livre et les yeux, à 20 centimètres, on peut voir nettement tantôt les fils du voile, tantôt les lettres. — Si l'on éclaire le fond d'un œil emmétrope à l'aide d'un miroir plan, en se servant d'une flamme placée à grande distance, on voit une image nette de la flamme projetée sur le fond de l'œil, si l'observé regarde au loin. Si au contraire il fixe un objet situé plus près, l'image forme un cercle de diffusion qui, le plus souvent, remplit toute la pupille. Le contraire a lieu lorsqu'on place la flamme à petite distance.

39. Expériences de Czermak, de Scheiner et de Mile. — En regardant vers une surface éclairée (le ciel par exemple) par un trou d'épingle pra-

tiqué dans un écran noir, on voit le trou sous forme de cercle de diffusion. Si l'on déplace un second écran tenu plus près de l'œil, devant le trou, on le voit se mouvoir en sens inverse de celui dans lequel il se meut réellement. Si, au contraire, on meut le deuxième écran en avant du premier, il semble se mouvoir suivant la direction de son déplacement réel (*Czermak*).

En regardant vers une surface éclairée à travers deux trous dont la distance est plus petite que le diamètre de la pupille, on voit deux cercles de diffusion qui se couvrent en partie. On place ensuite une aiguille de façon qu'on la voie dans la partie commune des cercles de diffusion, et une autre plus loin dans la même direction. Celle des deux aiguilles qu'on fixe est vue simple, l'autre double. Si c'est l'aiguille la plus rapprochée qu'on voit double, l'image à gauche disparaît si l'on couvre le trou qui se trouve à droite (1). Si c'est l'autre aiguille qui est dédoublée, le contraire a lieu (*Scheiner*). — Il est facile de répéter cette expérience avec une lentille et c'est même un très bon moyen pour déterminer sa distance focale (en remplaçant l'aiguille par un point lumineux).

Si l'on regarde la plus éloignée des deux aiguilles de l'expérience de *Scheiner* à travers un seul petit trou, on verra qu'un petit mouvement de l'écran imprime à l'aiguille la plus rapprochée un mouvement en sens inverse. En fixant l'aiguille la plus rapprochée, l'autre semble se mouvoir dans le même sens que l'écran (*Mile*).

Il est facile de se rendre compte de ces phénomènes lorsqu'on dessine la marche des rayons, en n'oubliant pas que l'œil renverse les phénomènes en les projetant au dehors.

40. Optomètre de Thomas Young (2). — L'expérience de *Scheiner* forme la base de l'optomètre de Th. *Young*, qui me paraît être l'un des instruments les plus importants pour les études d'optique physiologique.

---

(1) Pour rendre l'expérience plus frappante à mes élèves, j'avais collé une plaque de gélatine rouge devant le trou à droite. Mais, après avoir exposé la théorie de l'expérience, je rencontrais des protestations très vives ; tous déclaraient que c'était l'aiguille à droite qui paraissait rouge. C'est en effet ainsi lorsqu'on regarde vers le ciel, mais il ne faut pas en conclure que c'est l'aiguille à droite qui appartient au trou qui est à droite. Le phénomène est analogue à celui des ombres colorées dont je parlerai dans le chapitre XVII. Si on se place de façon telle que l'aiguille soit éclairée, c'est l'image à gauche qui paraît rouge. Un de mes élèves, M. *Johnsson*, a étudié des phénomènes chromatiques qu'on observe dans les mêmes circonstances, en regardant l'aiguille vers le ciel, mais sans intercalation de plaque colorée. On les observe surtout bien en dilatant la pupille et en se servant des fentes de l'optomètre de *Young*. Lorsque l'aiguille est située en deçà du point fixé, l'une des images est vue verte, l'autre pourpre ; chaque image est bordée de rouge du côté qui regarde vers l'autre image, de bleu du côté opposé. Ces phénomènes, qui dépendent de l'aberration chromatique de l'œil, ne sont pas encore bien expliqués.

(2) N'ayant pu me procurer cet instrument nulle part, je l'ai fait construire de nouveau par M. *Werlein*, en le modernisant un peu.

Il a la forme d'une petite règle. Sur l'une des faces est tracée une fine ligne blanche sur fond noir. On regarde le long de cette ligne, à travers une lentille de + 10 D. Devant la lentille glisse une petite réglette horizontale dans laquelle se trouvent différents groupes de fentes (fig. 55 *a*). En plaçant les deux fentes du milieu de la réglette en avant de la lentille, elles agissent comme les trous dans l'expérience de Scheiner. Chaque point de la ligne paraît dédoublé, excepté celui qui est vu nettement ; un

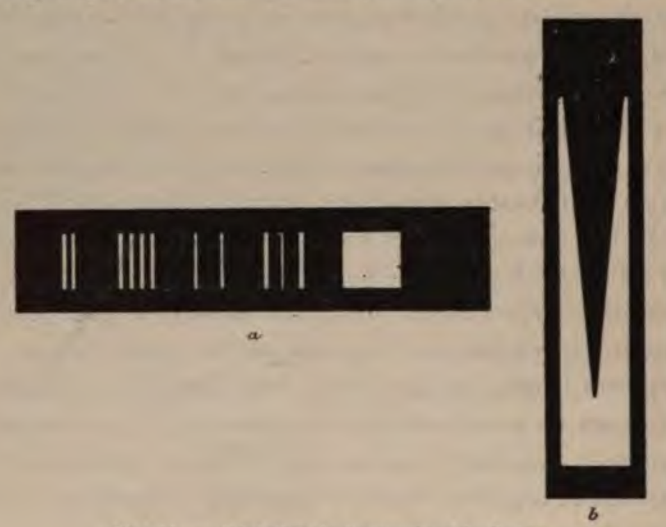


Fig. 55. — Réglettes de l'optomètre de *Young*.

emmétrope qui n'accommode pas doit donc voir deux lignes qui s'entre-croisent au *remotum*, à 10 centimètres de l'œil. Pour déterminer la réfraction d'une personne, on la fait regarder dans l'instrument et placer un petit curseur à l'endroit où elle voit l'entre-croisement des lignes. Une échelle dioptrique, placée le long de la ligne, permet alors de lire directement la réfraction. — On détermine ensuite le proximum de la même manière. — Les autres groupes de fentes permettent de déterminer la réfraction des différentes parties de l'espace pupillaire. On peut aussi se servir de la réglette verticale (fig. 51, *b*) qui a la forme d'un triangle très pointu ; en la faisant descendre plus ou moins, on élimine une partie plus ou moins large du milieu de la pupille.

L'instrument ne se prête pas bien à l'examen des malades, car il est assez difficile pour un observateur inexpérimenté de s'en servir sans accommoder. Pour qui est maître de son accommodation, l'instrument permet de mesurer d'un coup la réfraction et l'amplitude de l'accommodation ; on peut déterminer la réfraction dans les différents méridiens en faisant subir à l'instrument une rotation autour de son axe longitudinal. C'est ainsi que *Young* découvrit l'astigmatisme de son œil.

Les observations faites avec cet optomètre sont en outre de première importance pour l'étude de la nature de l'accommodation (v. ch. XII).

41. Effets du trou sténopéique. — En regardant à travers un trou plus petit que la pupille, on diminue les cercles de diffusion, de façon que des objets qu'on voyait d'abord flous deviennent plus nets. C'est ainsi que les myopes voient mieux à distance en regardant à travers un petit trou. On peut aussi s'en servir comme d'une loupe; on peut en effet rapprocher l'objet qu'on désire examiner très près de l'œil et de cette manière obtenir une image rétinienne très grande. Plus on diminue le diamètre du trou, plus l'image devient nette, mais elle perd en même temps en clarté. On ne peut pas dépasser une certaine limite inférieure sans nuire par la diffraction à la netteté de l'image (1).

Comme le trou sténopéique efface pour ainsi dire l'effet des anomalies de réfraction, il est nuisible dans tous les cas où l'on désire déterminer la réfraction. C'est pourquoi on place les malades le dos vers la fenêtre lorsqu'on examine leur vision. On doit aussi éviter les petites ouvertures dans les ophtalmoscopes qui servent à déterminer la réfraction ; un éclairage trop fort est également nuisible.

En examinant un objet placé très près de l'œil, à travers un trou sténopéique, on verra que l'objet semble s'agrandir lorsqu'on éloigne un peu l'écran de l'œil. Voici l'explication de ce fait.

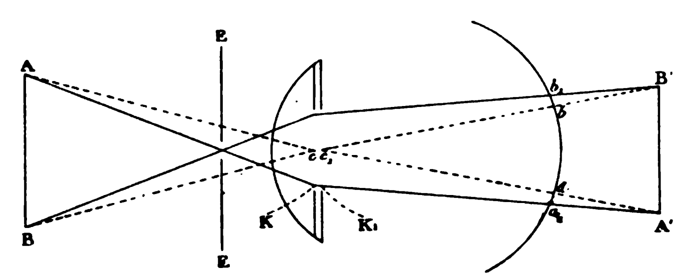


Fig. 56. — Grossissement au moyen du trou sténopéique.

Soit AB (fig. 56) un objet et A_1B_1 son image formée par le système optique de l'œil. Comme l'objet se trouve près de l'œil, l'image se forme assez loin derrière la rétine. Pour déterminer la position de l'image confuse sur la rétine, nous traçons le rayon A*c* passant par le milieu de la pupille d'entrée ; après la réfraction, il continue son chemin comme

(1) En regardant un point lumineux qu'on voit nettement, à travers un trou très fin, on remarque qu'il s'élargit en une petite surface lumineuse entourée d'anneaux brillants. Cet effet de la diffraction commence à se faire sentir légèrement à partir d'une ouverture de la pupille ou du trou d'environ 2 millimètres.

s'il venait de c_1, le centre de la pupille de sortie. Sa direction est $A'c_1$, puisqu'il doit passer par A', l'image de A. *a* est donc le milieu du cercle de diffusion que forme A sur la rétine et *ab* est le diamètre de l'image de diffusion. — Interposons maintenant l'écran EE avec son trou sténopéique. Le seul rayon qui de A passe par ce trou a la direction AK et, après la réfraction, la direction K_1A' ; il rencontre la rétine en a_1 et $a_1 b_1$ est la grandeur de l'image rétinienne. On voit que cette image est plus grande que *ab* et qu'elle augmenterait encore si l'on éloignait l'écran. — Des myopes regardant des objets éloignés à travers un trou sténopéique les voient diminuer si l'on éloigne un peu le trou.

Bibliographie. — L'étude de l'influence des cercles de diffusion sur la vision a été très négligée par les auteurs modernes. Le meilleur travail sur cette question est le suivant, qui date du siècle dernier.

Jurin (J.). *Essai sur la vision distincte et indistincte*, dans Robert Smith, *Cours complet d'optique*, trad. par Pezenas. Paris, 1767. — Scheiner (C.). *Oculus*. Innspruck, 1619. — Mile (J.). *Pogg. Ann.*, XLII, 40. — *Œuvres de Young*, éd. Tscherning, p. 112. — Tscherning (M.). *L'optomètre de Young et son emploi*. *Arch. de physiol.* Octobre 1894.

CHAPITRE VI

ANOMALIES DE RÉFRACTION

42. Remarques générales. — Nous avons jusqu'ici traité le système optique de l'œil comme s'il était idéal, mais en réalité il possède beaucoup de défauts. *v. Helmholtz* disait que, si un opticien lui avait livré un appareil optique aussi mal fait que l'œil, il se serait considéré comme étant dans son droit de le refuser, en se servant d'expressions assez sévères. La remarque de M. *Mascart* me paraît mieux dans la vérité, lorsqu'il dit que l'œil a tous les défauts optiques possibles, mais juste assez prononcés pour qu'ils ne soient pas nuisibles. Nous avons déjà vu que c'est le cas pour la diffraction, qui commence à se faire sentir à partir d'un diamètre pupillaire de 2 millimètres, ce qui est à peu près la limite inférieure de ce diamètre. Il en est de même avec l'aberration chromatique, l'aberration de sphéricité, etc. Un opticien n'a pas besoin de soigner un objectif dont les images sont destinées à être grossies cinq fois autant qu'un autre dont les images doivent être grossies vingt ou trente fois. De même les yeux ont souvent l'acuité visuelle à laquelle nous devons nous attendre d'après la structure rétinienne, et une plus grande perfection optique serait superflue. Il est vrai que beaucoup d'yeux, que l'on considère encore comme normaux, ont des défauts optiques qui diminuent leur acuité visuelle, laquelle devrait être à peu près le double de celle qu'on désigne comme l'acuité normale; mais, pour la plupart des métiers, l'acuité dite normale suffit amplement.

On peut diviser les anomalies de réfraction en trois groupes :

1° Anomalies « d'écran ».

a. *Myopie axile.* — Distance trop grande de l'écran.

b. *Hypermétropie axile.* — Distance trop petite de l'écran.

c. *Position oblique de l'écran.* — Cette dernière anomalie n'est pas généralement reconnue. Elle semble jouer un rôle en diminuant l'acuité visuelle dans certaines formes de myopie très forte, dans lesquelles le

sommet du staphylome ne correspond pas exactement à la *fovea*. Il est évident que, si le système optique de l'œil était idéal, tous les rayons émanés d'un point se rencontrant exactement en un point de l'écran, l'obliquité de celui-ci ne jouerait aucun rôle, car l'étendue de la vision distincte est si petite que la différence de distance des différentes parties de l'image au système optique ne peut pas avoir grande influence. Mais, si les rayons ne se réunissent pas exactement en un point, comme c'est presque toujours le cas, il est clair que le cercle de diffusion sur la rétine doit être plus grand lorsque la rétine est placée obliquement, et que cela doit diminuer l'acuité visuelle.

2° ANOMALIES DES SURFACES RÉFRINGENTES.

Myopie } *de courbure.*
Hypermétropie }
Astigmatisme régulier.
Aberration de sphéricité.
Aberration chromatique.
Kératocône.
Lenticône.
Aphakie.
Luxation du cristallin.

Toutes les formes qu'on a réunies sous le nom d'*astigmatisme irrégulier.*

3° ANOMALIES DES INDICES.

Faux lenticône.

L'anomalie que *Demicheri* a récemment décrite sous le nom de faux lenticône est la seule anomalie des indices qui ait été constatée jusqu'à présent. Dans ces cas, on voit à l'ophtalmoscope le même jeu d'ombres qui est caractéristique pour le kératocône ; il est dû à une grande différence de réfraction entre le milieu de la pupille, qui est très myope (jusqu'à 10 D. et plus), et la périphérie qui est hypermétrope (3-4 D.). L'explication est probablement à chercher dans une diminution de l'indice des couches périphériques du cristallin, un changement qui doit diminuer la réfraction des parties périphériques de la pupille et augmenter fortement la réfraction centrale, suivant l'explication que nous avons donnée page 29. On trouve dans ces cas les images de *Purkinje* dédoublées (v. page 28), les surfaces du noyau donnant lieu à une réflexion assez régulière ; ce sont des cas analogues à ce que j'ai trouvé pour l'œil de bœuf mort, probablement aussi à la suite d'une imbibition de l'eau des parties superficielles.

43. Remarques générales sur l'amétropie. — On désigne comme *Remotum* l'endroit pour lequel l'œil est au point en état de repos. C'est donc le foyer conjugué de la *fovea*. En faisant un effort d'accommodation, l'œil peut se mettre au point pour des distances plus petites. Le point le plus rapproché pour lequel l'œil peut s'adapter s'appelle le *Proximum*. On exprime en général la distance du *Proximum* et celle du *Remotum* en dioptries ; la différence entre les deux chiffres est désignée comme l'*amplitude de l'accommodation*. La détermination du *Remotum* est assez facile et forme une partie importante du travail de l'oculiste ; celle du *Proximum* n'est pas très certaine, puisque sa position dépend d'un effort du malade dont l'intensité peut varier d'un jour à l'autre ; aussi la détermination du proximum est-elle souvent négligée dans les cliniques.

On considère comme normal l'œil *emmétrope*, c'est-à-dire un œil tel qu'en état de repos, l'image des objets éloignés se forme sur la rétine. Dans l'œil *myope* cette image se forme en avant, dans l'œil *hypermétrope* en arrière de la rétine. On désigne ces deux anomalies sous le nom commun d'*amétropie*. L'œil emmétrope a son *remotum* situé à l'infini, celui de l'œil myope se trouve à une distance finie. Quant à l'œil hypermétrope, son remotum est virtuel. Il faut que les rayons convergent déjà, avant d'entrer dans l'œil, pour qu'ils se réunissent en un point sur la rétine. Ce point vers lequel doivent converger les rayons, avant d'entrer dans l'œil, et qui est par conséquent situé en arrière de celui-ci, est le *remotum* ; sa distance est à noter comme négative. Le degré d'amétropie s'indique en exprimant en dioptries la distance de l'œil au remotum (1).

Dans l'énorme majorité des cas, la myopie et l'hypermétropie sont dues à une anomalie de longueur de l'œil : l'œil myope est trop long, l'œil hypermétrope trop court. Une augmentation ou une diminution de 1 millimètre de l'axe de l'œil correspond à une amétropie de deux dioptries et demi. Mettons en effet dans la formule de Newton, $l_1 l_2 = F_1 F_2$, les valeurs de l'œil simplifié $F_1 = 17$ millimètres, $F_2 = 22{,}7$, et on aura $l_1 l_2 = 386$, formule dans laquelle l_1 est la distance du remotum au foyer antérieur et l_2 la distance de la rétine au foyer postérieur de l'œil. Si $l_2 = 1$ millimètre, $l_1 = 386$ millimètres, ce qui correspond à environ 2,5 D. ; si $l_2 = 2$ millimètres, $l_1 = 193$ millimètres ou environ 5 D., et ainsi de suite.

---

(1) On a discuté la question de savoir à partir de quel point de l'œil il faut compter l'amétropie ; il me semble que le plus simple est de la compter à partir du sommet de la cornée. On a voulu la compter de l'un ou l'autre des points cardinaux du système optique, mais comme ces points n'ont pas la même position dans tous les yeux, ni dans tous les méridiens du même œil, ni même pour toutes les parties du même méridien, on pourrait ainsi produire de la confusion.

On corrige la myopie en plaçant devant l'œil un verre concave tel que l'image qu'il forme des objets éloignés soit située au *remotum* de l'œil. A cause de la distance du verre à l'œil, sa distance focale est un peu plus petite que la distance de l'œil à son *remotum*. L'examen subjectif conduit donc toujours à trouver la myopie un peu plus forte qu'elle ne l'est en réalité. La différence est insignifiante pour les faibles degrés de myopie, considérable pour les forts degrés. Si l'on éloigne le verre de l'œil, son effet diminue. — En choisissant le verre correcteur, il faut avoir bien soin de prendre le plus faible verre concave qui corrige, car les jeunes myopes voient aussi bien avec des verres plus forts, parce qu'ils neutralisent l'excès de correction en accommodant. Après avoir trouvé le verre correcteur, on peut essayer de l'éloigner un peu de l'œil. Si le malade continue à bien voir, le verre est trop fort.

L'hypermétropie se corrige au moyen du verre convexe, qui amène l'image de l'objet éloigné au *remotum* situé derrière l'œil. La distance ocale du verre étant un peu plus grande que la distance de l'œil au *remotum*, le verre correcteur est un peu plus faible que l'hypermétropie. L'hypermétrope peut augmenter la force de ses verres en les éloignant un peu de l'œil. — Le verre correcteur est le verre convexe le plus fort que le malade supporte sans perte de l'acuité visuelle, mais il peut voir aussi bien avec des verres plus faibles en accommodant.

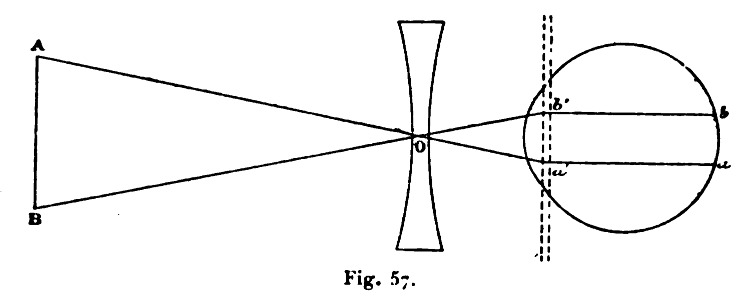


Fig. 57.

L'image rétinienne d'un objet vu sous un angle donné est plus grande dans l'œil myope et plus petite dans l'œil hypermétrope que dans un œil emmétrope, puisque la distance du point nodal (postérieur) à la rétine est plus grande dans l'œil myope, plus petite dans l'œil hypermétrope. — Mais, cet effet disparaît lorsqu'on corrige l'œil amétrope, en plaçant le verre correcteur de façon que son centre optique coïncide avec le foyer antérieur de l'œil. Alors l'image est toujours de la même grandeur, quelle que soit l'amétropie. Car les rayons AO et BO (fig. 57) traversent la lentille sans déviation et sont parallèles, après la réfraction par le système optique de l'œil, de sorte que la grandeur de l'image est toujours la même, quelle que soit la distance de la rétine. —

Si l'on place le verre correcteur en avant du foyer antérieur, l'image rétinienne de l'œil myope est plus petite, celle de l'œil hypermétrope plus grande, que l'image de l'œil emmétrope, ce qui est facile à voir par une construction analogue à celle de la figure 57. On construit d'abord l'image formée par le verre et on trace les rayons passant par les extrémités de cette image et par le foyer antérieur.

Les malades disent souvent que les verres concaves diminuent les objets. Cela peut tenir à ce que le verre est placé en avant du foyer antérieur, ou simplement à ce que les objets extérieurs vus nettement paraissent plus petits, à cause de la disparition des cercles de diffusion. Mais la cause peut aussi être que le verre est trop fort; car, si le malade accommode, le foyer antérieur se rapproche de l'œil et l'image diminue pour cette raison.

44. Optomètres. — L'emploi des verres de la boîte d'essai et du tableau d'acuité visuelle placé à distance est toujours la meilleure des méthodes subjectives. On a construit un très grand nombre d'optomètres, mais aucun d'eux n'a réussi à faire disparaître les boîtes d'essai; leur défaut commun est de solliciter un effort d'accommodation qui fait paraître la myopie trop forte. Les meilleurs sont ceux qui travaillent à grande distance, comme l'optomètre de *Javal*, mais ceux-là même semblent aussi donner parfois des degrés de myopie trop forts. L'optomètre de *Javal* est composé de deux disques, à peu près comme les disques des ophtalmoscopes à réfraction, mais bien plus grands : l'un des disques porte les verres sphériques, l'autre les verres cylindriques ; un mécanisme spécial permet d'orienter l'axe de tous les verres cylindriques dans le sens qu'on veut. — D'autres optomètres sont fondés sur l'emploi d'une seule lentille convexe ; en déplaçant l'objet par rapport à cette lentille, on peut en former l'image à n'importe quelle distance et ainsi chercher l'endroit où elle paraît nette. Des optomètres de cette sorte ont été construits par *Coccius, Donders, Sous* et beaucoup d'autres. L'optomètre de *Graefe* était une lunette de *Galilée*; on sait que les myopes sont obligés de raccourcir leurs jumelles pour voir nettement. En munissant la jumelle d'une échelle, elle peut donc servir d'optomètre. — Il en est de même du télescope, dont *Hirschberg* a proposé l'emploi.

Parmi tous ces optomètres, je ne mentionnerai spécialement que celui de *Badal*, à cause de son élégant principe. Il se compose d'une seule lentille convexe dont le foyer coïncide avec le point nodal (antérieur) de l'œil. La position de celui-ci est assurée par un œilleton. Une épreuve diminuée du tableau de *Snellen* est placée de l'autre côté de la lentille, mobile en avant et en arrière. En déplaçant l'objet, on peut amener son image à se

trouver n'importe où, et il est facile de voir (fig. 58) que l'image rétinienne reste toujours de la même grandeur, n'importe où l'objet se

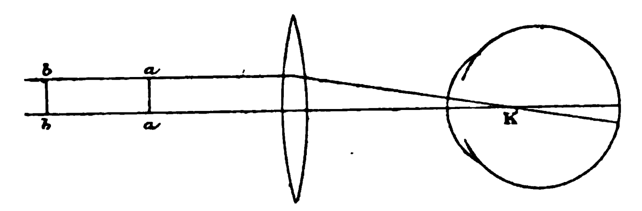


Fig. 58. — Principe de *Badal*.

trouve, en *bb*, en *aa*, etc. On peut donc mesurer l'acuité visuelle avec cet optomètre. Le même résultat s'obtient du reste en faisant coïncider le foyer de la lentille avec le foyer antérieur de l'œil (fig. 59).

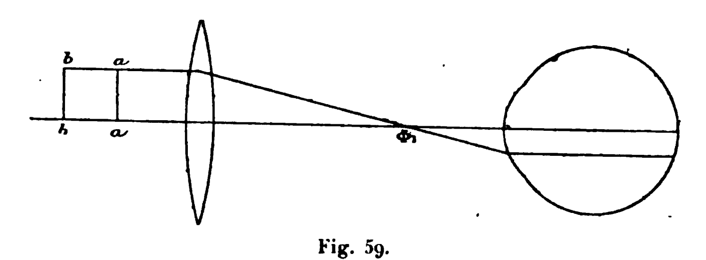


Fig. 59.

45. Myopie. — Il existe deux formes de myopie axile, une qui dépend du travail de près et une autre qui en est indépendante (1). — La *myopie de travail* apparaît habituellement vers l'âge de six à quinze ans ; elle s'arrête le plus souvent à l'âge de vingt-cinq ans environ. Elle atteint des degrés moyens et ne semble pas dépasser la limite de 9 D. Les complications, excepté le staphylome, sont rares.

La *myopie dangereuse* est quelquefois congénitale et stationnaire ; le plus souvent, elle se développe déjà dans la première enfance et continue à augmenter pendant toute la vie. A l'âge de vingt ans, elle dépasse en général 9 D. Cette forme de myopie est à considérer comme une choroïdite insidieuse, et c'est à elle qu'appartiennent les complications dangereuses de la myopie ; comme la plupart des affections choroïdiennes, elle semble être un peu plus fréquente chez les femmes.

En 1882-83, j'ai examiné environ 7.000 jeunes conscrits danois, en

(1) Même en éliminant ces deux formes de myopie, il est probable qu'il en resterait encore un certain nombre, dû à un désaccord congénital entre le système optique et la longueur de l'axe de l'œil, car il n'est pas probable que tous les yeux normaux soient construits de manière à être exactement emmétropes. — Mais la myopie entre 2 D et 9 D est tellement rare parmi les illettrés, que cette troisième forme ne doit comprendre que des degrés légers.

déterminant leur réfraction à l'image droite. L'influence du travail de près se voit dans la liste suivante :

		Myopes.
I	Étudiants	32 p. 100
	Employés de bureau et de commerce	16 —
	Artistes, etc.	13 —
	Tailleurs, cordonniers, etc.	12 —
II	Ouvriers (gros travail)	5 p. 100
	Agriculteurs (paysans)	2 —

La répartition des deux formes de myopie dans les deux groupes était la suivante :

	En tout.	Myopes < 9 D	Myopes > 9 D
I	2 336	407 (17 p. 100)	13 (0,56 p. 100)
II	5 187	169 (3 —)	38 (0,73 —)

On voit que la plus grande fréquence de la myopie dans les classes

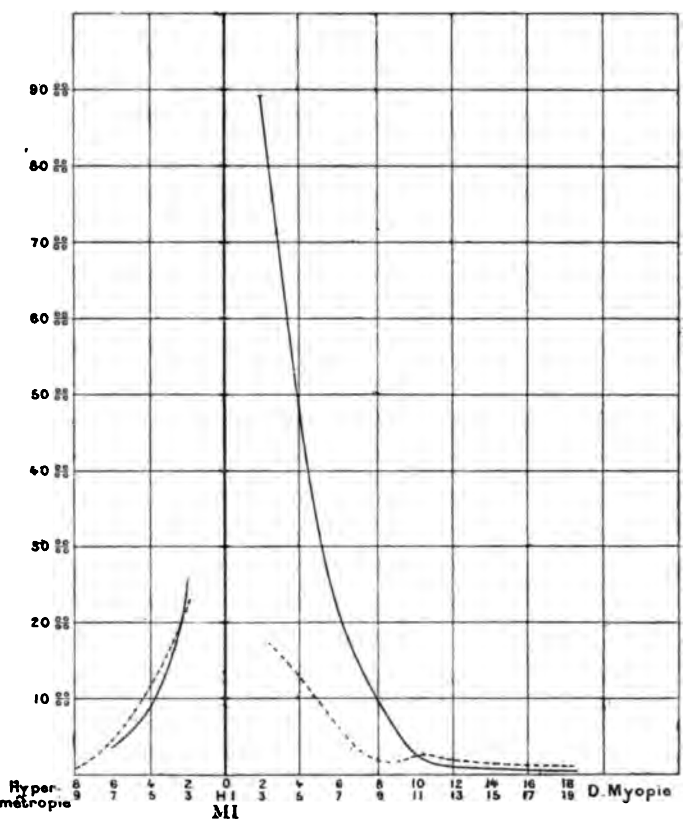


Fig. 60. — Répartition des anomalies de réfraction dans la jeune population de Copenhague.
——— Lettrés. .... Illettrés.

lettrées ne comprend que les degrés inférieurs. Les degrés très forts sont plutôt plus fréquents chez les illettrés (fig. 60). — Parmi les paysans,

j'ai même rencontré plus de cas de M > 9 D. que de myopie entre 2 D. et 9 D.

C'est donc une grande exagération que de considérer la myopie de travail comme une calamité publique, ainsi qu'on l'a fait surtout en Allemagne. On est tombé d'une exagération dans une autre. On croyait jadis que les yeux myopes étaient plus forts que les autres parce qu'ils ne deviennent pas presbytes. Après la découverte de l'ophtalmoscope on constatait à chaque instant des complications très graves dans les cas de forte myopie, et ainsi se développait l'idée exprimée dans la célèbre phrase de Donders : « Je n'hésite pas à déclarer que tout œil myope est un œil malade, » phrase que *Cohn* prenait pour devise de la première des grandes statistiques d'écoliers qui ait été faite. Plus tard, on en a fait beaucoup, mais sans grands résultats. Elles montrent bien que la myopie est plus fréquente et plus prononcée dans les classes supérieures des écoles; mais, comme les élèves de ces classes sont plus âgés et que la myopie est un état qui se développe avec l'âge, ces statistiques ne prouvent pas péremptoirement l'influence du travail.

On n'est pas encore arrivé à donner une explication satisfaisante du mécanisme par lequel le travail de près produit la myopie. *Donders* invoquait trois facteurs : 1° la position inclinée de la tête, qui produit de l'hyperémie du globe avec une tendance à la distension; 2° la fatigue des yeux, qui serait la conséquence de la lecture prolongée et qui produirait également de l'hyperémie; 3° la pression qu'exerceraient les muscles extérieurs sur l'œil, pendant la convergence pour un point rapproché. — *Arlt* qui, par ses autopsies, prouva le premier, en 1854, que la myopie est due à un allongement du globe, insistait surtout sur l'action du grand oblique pendant la lecture. L'œil étant dirigé en bas, ce muscle peut en effet comprimer une des veines vortiqueuses et produire ainsi le développement de l'hyperémie. *Stilling* a essayé de développer encore cette théorie, en cherchant la disposition à la myopie dans une forme spéciale de l'orbite (trop basse — *Hypoconchie*), qui donnerait au muscle une direction plus apte à comprimer l'œil.

Malgré le petit degré d'accommodation dont les myopes ont besoin (1),

(1) Il est possible que les myopes accommodent souvent plus qu'on ne le croit. Dans les faibles degrés ils travaillent souvent en deçà de leur *remotum*, parce qu'en rapprochant le travail ils peuvent voir plus de détails. Quant aux forts degrés, d'autres circonstances peuvent amener une accommodation assez notable. C'est ainsi que *Javal* a fait remarquer qu'un œil myope ne peut pas être au point à la fois pour les extrémités et le milieu d'une ligne d'un livre. Si la myopie est de 10 D., la longueur de la ligne de 10 cm, et si les extrémités de la ligne sont vues nettement sans accommodation, le malade est obligé d'accommoder de deux dioptries environ en lisant le milieu, à moins d'imprimer au livre ou à la tête des mouvements perpétuels pendant la lecture, ou de se contenter de voir diffusément une partie de la ligne.

la théorie de l'origine accommodative de la myopie a pourtant beaucoup de partisans, et je pense qu'ils ont raison ; mais, comme le mécanisme de l'accommodation n'a guère été connu avant ces derniers temps, il n'est pas étonnant qu'on ait vainement cherché la solution du problème de la myopie de travail.

46. Choix des lunettes. — Bien que la myopie de travail ne soit pas à considérer comme un véritable état maladif de l'œil, elle constitue toujours un désagrément qu'il est de notre devoir d'empêcher autant que possible. Comme c'est le travail de près qui produit la myopie, il faut faire travailler les jeunes myopes à une aussi grande distance que possible, et, à cause de l'influence probable de l'accommodation, il faut restreindre celle-ci autant que possible ou la rendre nulle. — La question nous est le plus souvent posée par des parents qui s'inquiètent de voir leurs enfants devenir myopes. — Si la myopie est faible, au-dessous de trois dioptries, on donne les verres correcteurs pour voir de loin et rien pour voir de près, en recommandant de surveiller la distance du livre pendant la lecture. Nous mettons la distance normale de travail à 33 centimètres. — Si la myopie dépasse trois dioptries, nous donnons pour voir de près les verres correcteurs, diminués de 3 D. Par exemple, si la myopie est de 6D., nous donnons 3 D. pour voir de près. Pour loin, on peut donner les verres correcteurs ou un lorgnon supplémentaire à superposer aux lunettes. — Mais, en donnant les verres concaves pour près, il faut insister beaucoup pour que les myopes observent la distance minima de 33 centimètres en travaillant; autrement, les verres seraient plutôt nuisibles, en sollicitant un effort d'accommodation qui pourrait faire augmenter la myopie.

Quand la myopie dépasse 9 D., il devient nécessaire de la considérer comme dangereuse et il faut recommander de ménager les yeux. En général, il est préférable de ne pas corriger complètement la myopie, mais seulement assez pour que le malade ne soit pas trop gêné pour circuler. Comme l'acuité est souvent diminuée, on ne peut pas non plus exiger une distance aussi grande pour le travail de près ; on peut ainsi donner les verres correcteurs diminués de 4 à 5 D. pour près, ce qui met le remotum respectivement à 25 ou 20 centimètres. — Il est à recommander au malade de ne jamais travailler la tête baissée ; dans le dernier cas, où la distance de travail est de 20 centimètres, il faut employer un pupitre. — Les malades nous demandent souvent conseil pour l'éclairage. Aucune lumière artificielle (excepté la lampe à arc) n'est nuisible aux yeux ; plus elle est forte, mieux cela vaut, car l'éclairage artificiel n'atteint jamais le degré de l'éclairage d'un beau jour ; mais il peut être utile de protéger les yeux avec un abat-jour.

Lorsque la myopie est très forte, les lunettes ne sont souvent d'aucune utilité, les malades ne les acceptent pas. Il faut alors restreindre le travail de près le plus possible. Pour loin, une petite jumelle rend quelquefois de bons services. Pour éviter l'accommodation, il faut conseiller aux malades de l'allonger autant que possible.

47. Cures de la myopie. — Les deux théories par lesquelles on a voulu expliquer la myopie de travail ont toutes les deux donné naissance à une cure de la myopie. La théorie de la convergence a conduit à essayer d'enrayer les progrès de la myopie en faisant une ténotomie du droit externe, aussitôt qu'il y avait un strabisme divergent latent un peu prononcé (qu'on dénommait insuffisance des internes). Certains opérateurs ont fait des milliers d'opérations de cette sorte : le résultat était très douteux, et on peut considérer cette opération comme abandonnée. La théorie de l'accommodation a conduit aux cures d'atropine ; mais, avant d'en parler, je dirai quelques mots de l'emploi de l'atropine pour la détermination de la réfraction, procédé qui est encore très à la mode dans certains pays.

M. *de Wecker* a beaucoup insisté sur l'abus de l'atropine dans l'oculistique, et, pour ce qui est de son emploi pour la détermination de la réfraction, je me range parfaitement à son avis. — On sait que les jeunes hypermétropes ont l'habitude de corriger une partie de leur hypermétropie en accommodant, et qu'ils ne peuvent pas relâcher cette accommodation sans s'y exercer au moyen de verres convexes, au moins tant qu'ils fixent un objet déterminé. Pour rendre toute l'hypermétropie manifeste, on est obligé d'instiller de l'atropine, afin de paralyser l'accommodation. C'est cette observation, parfaitement juste, qui a engendré l'idée qu'on obtiendrait en général une meilleure détermination de la réfraction en instillant de l'atropine et qui a fait accuser le muscle ciliaire chaque fois qu'on trouvait une différence de réfraction avant et après l'instillation de l'atropine. En mettant de l'atropine dans des yeux emmétropes, on trouve souvent un léger degré d'hypermétropie, que *Donders* a voulu expliquer en admettant un « tonus du muscle ciliaire ». Souvent aussi on voit la myopie diminuer un peu sous l'influence de l'atropine, et l'on a attribué cette diminution à l'existence d'un « spasme de l'accommodation » qui disparaîtrait, le muscle accommodateur étant paralysé.

On a été conduit à ces erreurs parce qu'on était persuadé que la réfraction devrait nécessairement être la même dans tout l'espace pupillaire. Il n'en est rien : il existe presque toujours des différences qui sont souvent très notables. C'est ainsi qu'il y a dans mon œil une différence relativement énorme, de près de 4 D., entre le bord supérieur et le bord

inférieur de la pupille (v. p. 136). — Lorsqu'on instille de l'atropine, la pupille se dilate et la partie basale de la cornée qui est fortement aplatie entre en jeu. Comme l'aplatissement de ces parties est souvent assez fort pour surcorriger l'aberration de sphéricité, il se trouve que la réfraction de ces parties périphériques est généralement plus faible que celle des parties centrales. Une dilatation assez faible de la pupille suffit pour que l'aire de ces parties qui, dans les conditions ordinaires, sont exclues, soit plus grande que celle de la pupille ordinaire ; c'est ce qui fait juger surtout d'après elles dans la détermination de la réfraction. Si l'aplatissement périphérique de la cornée est plus faible ou si l'étendue de la partie optique dépasse les limites ordinaires, ce qui arrive quelquefois, on peut, grâce à l'aberration de sphéricité, obtenir une augmentation de réfraction en instillant de l'atropine. De tels cas ont été observés, entre autres par *Javal* : ils étaient bien difficiles à expliquer avec les idées qui ont eu cours jusqu'à présent, puisqu'on ne pouvait admettre que l'instillation de l'atropine pût donner lieu à un spasme de l'accommodation. — Excepté dans les cas d'hypermétropie latente, on obtient donc en général une meilleure idée de la réfraction oculaire par l'examen ordinaire sans atropine.

Des *cures d'atropine* ont été employées contre la myopie progressive ; on tenait le muscle ciliaire paralysé pendant quinze jours ou un mois, pour arrêter la progression de la myopie, surtout guidé par le désir d'agir contre le spasme de l'accommodation qu'on supposait être la cause de la progression de la myopie. Ces cures ne semblent pas avoir été utiles. — Dans les cas où les yeux sont exposés à un danger grave, par exemple à un décollement, il peut pourtant être utile de leur procurer un repos complet en instillant de l'atropine et en interdisant tout travail pendant quelque temps.

Depuis quelques années, d'après le conseil de *Fukala*, on commence à traiter les forts degrés de myopie en enlevant le cristallin, le plus souvent par une discision suivie d'extraction. Ce traitement, que *Donders* déclara criminel à une époque où les interventions chirurgicales étaient plus dangereuses que maintenant, semble donner souvent de très beaux résultats, non seulement parce que les opérés deviennent emmétropes ou à peu près après l'opération, mais aussi parce qu'ils gagnent considérablement en acuité visuelle pour loin. Nous avons déjà vu que la grandeur de l'image rétinienne de l'œil myope, corrigé par un verre placé au foyer antérieur, est égale à l'image de l'œil emmétrope. Or, dans l'œil emmétrope, la rétine est située à environ 16 millimètres en arrière du point nodal (postérieur) ; dans un œil myope devenu emmétrope par extraction du cristallin, la rétine est située au foyer postérieur

de la cornée ou à environ 24 millimètres du point nodal. Comme la grandeur de l'image ne dépend que de cette distance, on voit que l'agrandissement linéaire de l'image par l'opération est d'environ la moitié. Souvent on gagne encore plus, parce qu'on place le verre correcteur non pas au foyer antérieur mais un peu en avant, ce qui a pour effet de diminuer l'image. La perte de l'accommodation, qui du reste n'est que très peu utile aux myopes d'un degré élevé, ne peut pas contre-balancer ces avantages; néanmoins il y a lieu d'être très prudent dans la recommandation de cette opération, car elle n'est pas sans danger. En faisant la discision (suivie de paracentèses), on peut craindre des complications glaucomateuses ou des iridocyclites, à la suite d'un gonflement trop fort du cristallin. Si l'on fait l'extraction, une perte éventuelle de corps vitré peut tôt ou tard produire un décollement de la rétine.

48. Hypermétropie. — L'œil hypermétrope est trop court. La rétine se trouvant trop près du système optique, l'hypermétrope ne peut pas, sans effort d'accommodation, réunir sur la rétine des rayons parallèles ou divergents. Lorsque l'hypermétropie est forte, l'amplitude de l'accommodation diminuant avec l'âge, il arrive un moment où le sujet ne peut plus corriger son hypermétropie en accommodant (*hypermétropie absolue*). — Le degré d'hypermétropie s'exprime par le verre convexe le plus fort avec lequel le malade peut distinguer nettement les objets éloignés. Pour déceler toute l'hypermétropie, il est souvent nécessaire de paralyser le muscle ciliaire au moyen de l'atropine, parce que le malade a pris l'habitude d'accommoder aussitôt qu'il fixe un objet et qu'il ne peut pas se défaire subitement de cette habitude, même lorsqu'on met devant son œil un verre convexe qui devrait le dispenser de toute accommodation. — Cette partie de l'hypermétropie, qu'on ne peut pas déceler par l'examen ordinaire, s'appelle *hypermétropie latente* (*Donders*); elle diminue avec l'âge, et il ne faut pas se la figurer comme une quantité bien définie. On peut souvent, en travaillant un peu avec le malade, lui faire accepter des verres de plus en plus forts. Dans la chambre obscure où le malade ne fixe pas, l'hypermétropie devient souvent manifeste en totalité, ce qui permet de la déterminer avec l'ophtalmoscope à réfraction ou par la skiascopie.

Asthénopie accommodative. — L'hypermétrope, étant obligé d'employer une partie de son accommodation pour neutraliser son défaut de réfraction, se fatigue en général plus vite que l'emmétrope en travaillant de près. Le symptôme essentiel de cette *asthénopie accommodative* est que, pendant la lecture, les lettres deviennent troubles. Lorsque ce

symptôme apparaît, le malade lit facilement pendant quelque temps; ensuite les lettres commencent à devenir indistinctes, de sorte qu'il est forcé de se reposer un peu. S'il recommence, cela va bien pendant un temps moins long, après lequel le même phénomène se reproduit. Si le malade continue quand même, il survient de la fatigue, des douleurs périorbitaires, etc. ; mais ces phénomènes sont secondaires, et de leur apparition il ne faut pas conclure à l'hypermétropie comme cause, en l'absence du symptôme essentiel, le défaut de netteté des caractères après quelque temps de lecture. Il ne faut pas non plus attribuer les plaintes des malades à un degré d'hypermétropie insignifiant. Les légers degrés d'hypermétropie ne se traduisent le plus souvent que par l'apparition précoce de la presbytie. On peut bien corriger un léger degré d'hypermétropie, même chez des jeunes gens, mais il ne faut pas s'attendre à obtenir de grands résultats. Les plaintes des malades ont le plus souvent d'autres causes.

Boehm, Stellwag et d'autres encore avaient recommandé l'emploi de verres convexes contre l'asthénopie accommodative, mais c'est le mérite de *Donders* de les avoir fait adopter par tout le monde. Ses travaux ont en effet contribué énormément à faire disparaître la crainte qu'avaient les anciens oculistes des verres convexes forts. Ils considéraient l'asthénopie comme un précurseur de l'amblyopie et croyaient favoriser le développement de cette dernière en donnant des verres convexes.

Les hypermétropes choisissent en général une grande distance de travail, pour ne pas fatiguer leur accommodation. Mais, lorsque l'hypermétropie est très forte, ce qui exigerait un effort d'accommodation beaucoup trop fatigant, on voit les malades choisir une distance très petite, en rapprochant le livre à quelques centimètres des yeux. Ils voient mieux, grâce à l'augmentation considérable des images rétiniennes. Il est vrai qu'elles sont troubles; mais, en rapprochant l'objet, les cercles de diffusion augmentent moins vite que les images et les malades savent en outre les diminuer en clignant des paupières.

La règle de *Donders* pour le choix de lunettes était de corriger l'hypermétropie manifeste plus un quart de l'hypermétropie latente, c'est-à-dire de donner, pour les jeunes gens, des verres convexes un peu plus forts que ceux qu'ils acceptent pour loin. Je considère cette règle comme sage ; d'autres corrigent l'hypermétropie totale. En général, les malades sont mécontents au commencement, avant d'être habitués aux lunettes ; les verres les gênent, et il est bon de les prévenir qu'il en sera ainsi pendant quelque temps. Cette gêne est d'autant plus grande que les verres sont plus forts, ce qui est une raison pour ne pas corriger tout. Une autre raison est que les malades sont bien plus gênés lorsque, pour un motif ou

pour un autre, ils ne peuvent pas mettre leurs lunettes, puisqu'ils ont perdu l'habitude de neutraliser leur hypermétropie par l'accommodation.

Si l'hypermétropie est faible ou moyenne (1-3 D.), il n'y a pas de raison pour donner des lunettes pour voir au loin, au moins chez les jeunes gens qui corrigent facilement leur hypermétropie en accommodant ; on peut les laisser libres à cet égard. Si l'hypermétropie est forte ou s'il y a une tendance au strabisme, il faut faire porter les verres constamment.

49. Aphakie. — Il est très rare de trouver une véritable hypermétropie qui dépasse 7 D. (v. fig. 60). Les degrés plus forts ne se rencontrent que dans l'aphakie (absence du cristallin).

On peut calculer le degré d'hypermétropie de l'œil aphake au moyen de la formule $\frac{F_1}{f_1} + \frac{F_2}{f_2} = 1$. Avec les valeurs de l'œil simplifié nous avons $F_1 = 24$, $F_2 = 32$, $f_2 = 24,7$, ce qui donne $f_1 = -81,2$. Le *remotum* est donc situé à 81^{mm},2 derrière la cornée ; l'œil sera corrigé par un verre convexe de 96 millimètres = 10,4 D., placé à 15 millimètres en avant de la cornée. On trouve en effet que les emmétropes opérés de cataracte se corrigent presque tous avec un verre de 10 à 11 Dioptries.

Mais ce serait une erreur d'appliquer ce chiffre aux amétropies et de croire qu'on pourrait toujours trouver la réfraction post-opératoire en diminuant la réfraction anté-opératoire de 11 D. Pour trouver le verre correcteur pour les amétropies, il faut le calculer de la même manière que pour les emmétropes. C'est ainsi que le Dr *Stadfeldt* a calculé le petit tableau suivant :

Avant l'opération	H. 7	H. 5	H. 3	H. 1	E	M. 1	M. 3	M. 5	M. 7
Après l'opération	H. 15	H. 13,8	H. 12,5	H. 11,3	H. 10.6	H. 10,1	H. 8,9	H. 7,8	H. 6.6
Avant l'opération	M. 9	M. 11	M. 13	M. 15	M. 17	M. 19	M. 21	M. 23	M. 25
Après l'opération	H. 5,5	H. 4,4	H. 3,4	H. 2,3	H. 1,3	H. 0,2	M. 0.8	M. 1,8	M. 2,7

En comparant ce tableau avec le suivant, qui a été tiré d'une série de résultats opératoires publiés par *Pflueger*, on voit que l'accord est assez satisfaisant.

Avant l'opération	M 10	M 11	M 12	M 13	M 14	M 15	M 16	M 18	M 22
Après —	H 5	H 5.5	H 3.5	H 3.5	H 3.5	H 1	H 2.5	M 2	M 2

Dimmer a attiré l'attention sur une petite source d'erreur dans l'examen

ordinaire des aphakes. Les verres de nos boîtes sont biconvexes, tandis que ceux que l'opticien exécute pour les malades sont le plus souvent sphérocylindriques, la surface cylindrique étant tournée vers l'œil. Or, le centre optique des lentilles équi-convexes est situé au milieu de la lentille, tandis que celui des verres plan-convexes est situé au sommet de la surface convexe. Il en résulte que l'effet sphérique du verre sphérocylindrique est un peu plus fort que celui du verre équi-convexe, ayant la même distance focale, le foyer postérieur étant situé un peu plus près du verre dans le premier cas. L'erreur peut atteindre une demi-dioptrie. Depuis quelque temps, on fabrique en Autriche des boîtes d'essai dans lesquelles les verres convexes forts sont plans d'un côté.

Ostwalt a insisté sur l'influence que la distance du verre à l'œil exerce sur la force des verres sphérocylindriques. Admettons par exemple qu'un œil se corrige par + 11 D. avec + 3 D. cyl., placé à 15 millimètres devant l'œil. Un tel verre a, dans l'un des méridiens principaux, une distance focale de 91 millimètres, dans l'autre 71 millimètres. Le *remotum* de l'œil se trouve ainsi dans l'un des méridiens à $91^{mm} - 15^{mm} = 76^{mm}$ (13,1 D.), dans l'autre à $71^{mm} - 15^{mm} = 56^{mm}$ (17,9 D.). Son astigmatisme est donc en réalité 4,8 D. et non 3 D. Pour l'examen subjectif, cette différence ne joue aucun rôle, puisque les verres avec lesquels nous examinons nos malades se trouvent à la même distance de l'œil que ceux que le malade portera, mais il n'en est pas de même avec l'ophtalmomètre, qui indique le véritable astigmatisme de l'œil; il faut donc se rappeler que dans ce cas le chiffre fourni par l'ophtalmomètre est supérieur à celui qui convient au malade. — Pour les verres cylindriques simples, la même influence se fait sentir, mais dans une proportion bien plus faible; un cylindre convexe de 6 D. correspond ainsi à un astigmatisme véritable de 6,5 D., un cylindre concave de 6 D. à 5,5 D.

Bibliographie. — Donders (F.-C.). *On the anomalies of accommodation and refraction of the eye.* London, 1864. — Mauthner (L.). *Vorlesungen ueber die optischen Fehler des Auges.* Wien, 1876. — Landolt (E.). *La réfraction et l'accommodation de l'œil* dans Wecker et Landolt. *Traité complet d'ophtalmologie.* Paris, 1883. — Boehm (L.). *Das Schielen.* Berlin, 1845. — Arlt (F.). *Die Krankheiten des Auges*, I-III. Prag., 1851. — Stellwag v. Carion. *Die Ophthalmologie vom naturwissentschaftlichen Standpunkte aus.* I-II. Erlangen, 1853. — Tscherning (M.). *Studien ueber die Aetiologie der Myopie. Arch. f. Ophth.*, XXIX, I, 1883. — Dimmer (F.). *Zur Glaesercorrection bei Aphakie* Kl. M. f. A. 1891. — Ostwalt (F.). *Einige Worte ueber Glaesercorrection bei Aphakie.* Kl. M. f. A. 1891. — Demicheri (L.). *Faux lenticône.* Ann. d'oc. 1895.

CHAPITRE VII

ABERRATION DE SPHÉRICITÉ

50. Notions d'optique. — Lorsque l'ouverture d'une lentille sphérique n'est pas très petite, après réfraction, les rayons provenant d'un point de l'objet ne se réunissent pas exactement en un point, comme il conviendrait pour former une bonne image ; les bords de la lentille sont plus réfringents que le centre. C'est ainsi que la lentille de nos boîtes, dont le centre a une réfraction de 20 D., réfracte de 25 D. vers les bords. En général, il en est de même pour tous les systèmes réfringents et réflé-

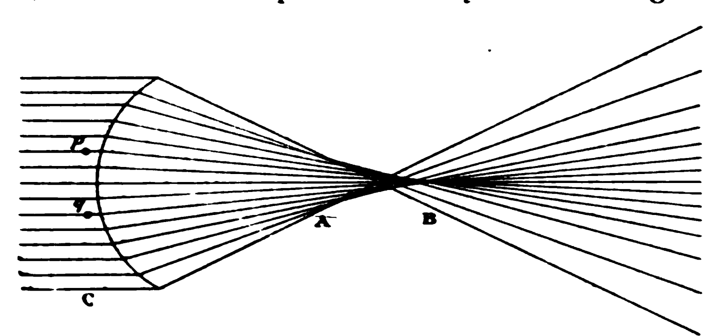


Fig. 61. — Réfraction par une surface sphérique d'un faisceau de rayons parallèles. Aberration de sphéricité. En A, les rayons sont entassés vers le bord ; en B, vers l'axe du faisceau ; *p*, *q*, deux aiguilles.

chissants (fig. 61). Il est possible néanmoins de construire des systèmes de grande ouverture et ne présentant que très peu d'aberration (*lentilles aplanétiques*) et d'autres où l'aberration est surcorrigée, les bords étant moins réfringents que le centre (*lentilles suraplanétisées*).

Le degré de l'aberration croît comme le carré de l'ouverture de la lentille et comme la troisième puissance de sa force réfringente. Il dépend en outre de la distance de l'objet et de la forme de la lentille. Une lentille plan-convexe présente moins d'aberration qu'une lentille équiconvexe, si l'on tourne le côté sphérique vers les rayons incidents supposés parallèles ; elle en présente davantage dans la position contraire. C'est

pour cette raison que les objectifs de jumelles sont bombés en avant. La meilleure forme de lentille simple est celle que les Anglais désignent sous le nom de *crossed lens*, où le rayon de la surface postérieure est environ six fois plus grand que celui de la surface antérieure. Voici la force réfringente, à 15 millimètres de l'axe, de différentes lentilles ayant toutes au milieu une réfraction de 20 D. Les rayons incidents sont supposés parallèles.

Crossed lens.	Plan convexe la surface convexe en avant.	Équiconvexe.	Plan convexe la surface plane en avant.
22,1 D.	22,3 D.	23,6 D.	33,8 D.

Il est évident que, plus l'aberration de la lentille est faible, plus on peut lui donner d'ouverture sans que l'aberration devienne nuisible à la netteté de l'image. La lentille croisée est peu employée, parce que la lentille plan-convexe est presque aussi bonne. D'ailleurs, pour corriger l'aberration chromatique, on se sert habituellement de lentilles composées (une lentille de *flint* et une autre de *crown* collées ensemble). On peut alors tailler les deux verres de manière à neutraliser aussi l'aberration de sphéricité, de sorte que l'aberration totale devienne presque nulle pour une distance donnée de l'objet.

51. Phénomènes dépendant de l aberration de sphéricité des lentilles. — Je vais exposer quelques expériences par lesquelles on peut étudier l'aberration de sphéricité des lentilles. Pour avoir des phénomènes bien prononcés, il faut se servir d'une lentille forte, le n° 20 (convexe) de nos boîtes, par exemple, ou, encore mieux, d'une forte lentille plan-convexe (l'objectif d'une jumelle), dont on tourne le côté plan vers la source lumineuse, placée à grande distance.

a. Application du principe de Scheiner. — On pose sur la lentille un écran opaque dans lequel on a préalablement fait, non pas deux ouvertures comme dans l'expérience de *Scheiner*, mais quatre, qui sont équidistantes, placées sur le diamètre horizontal de la lentille, deux centrales 2 et 3 et deux périphériques 1 et 4 (fig. 62). L'objet étant une source lumineuse éloignée, on reçoit les images sur un écran blanc placé derrière la lentille. En mettant d'abord celui-ci au delà du foyer, on y voit (fig. 62 A) quatre taches lumineuses qui correspondent aux ouvertures de l'écran, mais sont placées en ordre inverse. La distance entre les taches centrales est plus petite que celle qui sépare chacune des taches périphériques de la tache voisine. Les deux taches centrales reproduisent grossièrement la forme de la source, tandis que les deux taches périphériques sont allongées dans le sens horizontal, surtout si l'aberration est forte.

Les faisceaux passant par les ouvertures périphériques sont en effet *astigmates par incidence* (v. ch. IX). En rapprochant l'écran, les deux taches centrales se confondent en une seule (fig. 62 B). A ce moment, l'écran se trouve au foyer de la partie centrale de la lentille, tandis qu'il

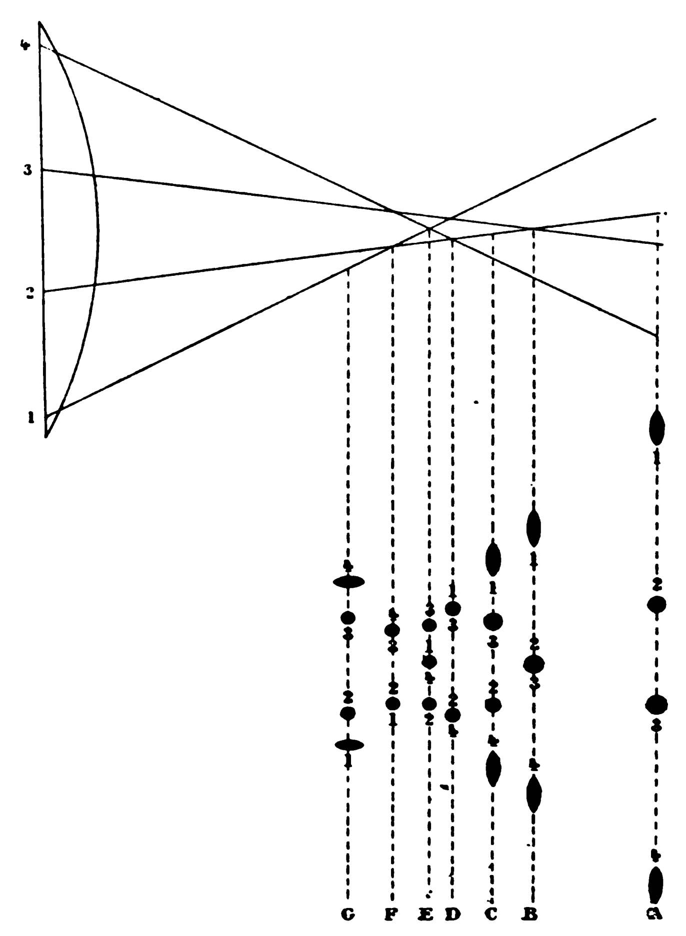


Fig. 62. — Aberration de sphéricité d'une lentille.

est encore au delà du foyer des parties périphériques. En avançant encore l'écran, les taches 1 et 4 se rapprochent et se confondent (fig. 62 E, foyer de la partie périphérique), tandis que les taches 2 et 3 se séparent à nouveau. On finit par avoir quatre taches, comme au début de l'expérience; mais elles sont maintenant rangées dans le même ordre que les ouvertures; les distances séparant les deux taches de chaque côté sont plus petites que la distance entre les taches centrales. On remarque aussi que les taches périphériques sont maintenant allongées dans le sens vertical. — Si la lentille est très grande, on peut observer toutes les phases dessinées sur la figure 62.

Pour déterminer le degré d'aberration, on n'a qu'à mesurer les distances des positions E (foyer des parties périphériques) et B (foyer de la partie centrale) jusqu'à l'écran. La différence entre ces deux distances, exprimées en dioptries, indique le degré de l'aberration. Pour avoir des mesures plus exactes, il est utile de couvrir chaque fois les deux ouvertures dont on ne se sert pas; pour la détermination de E, on couvre les ouvertures centrales, pour celle de B les ouvertures périphériques. — On peut aussi couvrir les deux ouvertures situées du même côté et déterminer la distance focale de l'autre côté (la position F, fig. 62), mais ce n'est pas nécessaire pour détermimer la marche des rayons : on peut, en effet, construire la figure 62 en connaissant seulement les positions B et E.

b. Examen des cercles de diffusion. — En examinant le cercle de diffusion, sans mettre d'écran percé de trous sur la lentille, on voit que, tant que l'écran blanc est situé au delà du foyer, la lumière est concentrée au milieu du cercle ; l'éclat diminue vite vers les bords. Lorsqu'il est situé en dedans du foyer, on voit au contraire un disque lumineux, entouré d'un cercle plus brillant. Ce phénomène est facile à comprendre : on voit en effet, sur la figure 56, que les rayons sont entassés vers le bord, entre la lentille et le foyer, tandis qu'ils sont concentrés autour de l'axe, au delà du foyer.

c. Déformation des ombres. — Mettons l'écran blanc au delà du foyer et plaçons une aiguille à tricoter contre la lentille. On voit alors l'ombre de l'aiguille dans le cercle de diffusion et on remarque que cette ombre

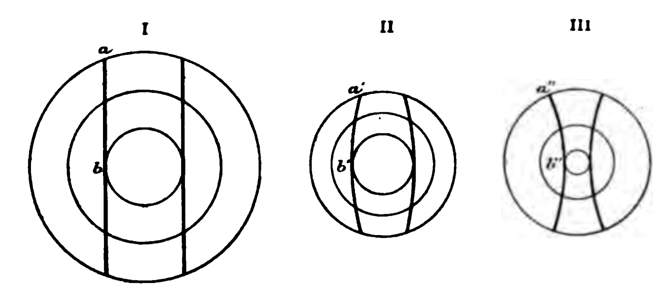


Fig. 63. — Déformation des ombres des aiguilles. Sections successives du faisceau de la figure 61. La section I est supposée faite en C (fig. 61), la section II en A, la section III en B, les deux dernières grossies ; *ab*, une aiguille ; *a' b'* et *a'' b''*, ses ombres.

n'est droite que si l'aiguille coïncide avec un diamètre de la lentille ; autrement, elle est courbe, tournant sa convexité vers le milieu. Si l'écran se trouve entre le foyer et la lentille, l'ombre est concave vers le milieu, mais la courbure est bien moins prononcée.

Pour comprendre ces déformations, figurons-nous la lentille divisée en

zones concentriques de même largeur. Un coup d'œil sur la figure 56 montre qu'après la réfraction les zones correspondantes du cercle de diffusion diminuent de largeur vers la périphérie, quand l'écran est situé entre le foyer et la lentille, tandis qu'elles augmentent de largeur vers la périphérie au delà du foyer. La figure 63, I montre la lentille vue de face et divisée en cercles concentriques ; les deux droites représentent deux aiguilles. La figure 63, II représente un cercle de diffusion entre la lentille et le foyer. On voit que les zones se rétrécissent vers le bord et l'on conçoit que le point a' soit relativement plus rapproché du centre que le point b', ce qui donne à l'ombre sa forme courbe. Connaissant la position des cercles concentriques de la tache de diffusion, il est facile de construire la forme de l'ombre, puisque l'ombre d'un point de l'aiguille doit se trouver à la même distance angulaire du diamètre horizontal que le point même. La figure 63, III représente un cercle de diffusion au delà du foyer.

Une lentille suraplanétisée donne tous les phénomènes mentionnés ici, mais en ordre inverse, tandis qu'une lentille corrigée (*aplanétique*) n'en donne aucun. Les cercles de diffusion d'une lentille aplanétique ont le même éclat dans toute leur étendue et l'ombre de l'aiguille reste droite partout. Pour donner une bonne image, une lentille doit être approximativement aplanétique. Les expériences précédentes peuvent être employées comme un contrôle de l'aplanétisme d'une lentille.

52. Aberration de l'œil humain. Expériences de Volkmann. — Ce savant examina l'aberration de l'œil en répétant l'expérience de *Scheiner* avec quatre trous placés comme l'indique la figure 64, *c*. En regardant une épingle placée au delà du *remotum* à travers ces trous, il la voyait quadruplée (fig. 64, A, *a*) ; et, en la rapprochant, il observa les différentes phases représentées par la figure 64 A, dans l'ordre suivant lequel elles sont figurées, et qui correspondent à de l'aberration de sphéricité. Il est facile de se rendre compte du phénomène en comparant la figure 64 avec la figure 6[illegible]. Dans la position 5, l'épingle se trouve au *remotum* des parties centrales de la pupille, puisque les deux images centrales se sont

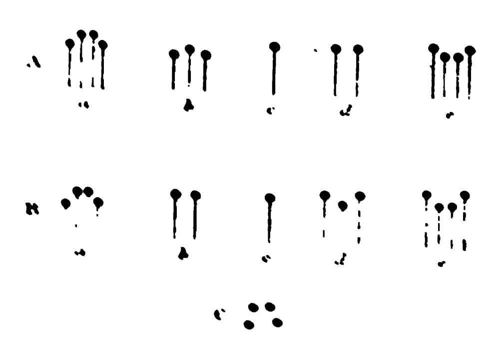


Fig. 64. — Expérience de Volkmann. — *a*, correspond à la position la plus éloignée ; *e*, à la position la plus rapprochée de l'aiguille. A, phénomènes observés par un œil à forte aberration de sphéricité ; B, par un œil à aberration surcorrigée.

réunies; elle est encore au delà du foyer des parties périphériques, puisque les images périphériques ne sont pas encore confondues. La plupart du temps, les sujets examinés observaient les mêmes phénomènes dans le même ordre, mais quelques-uns les voyaient dans l'ordre inverse (fig. 64, B), ce qui indique de l'aberration surcorrigée. Dans la position *d* (fig. 64, B), l'épingle est au *remotum* des parties centrales et en deçà du remotum des parties périphériques. — Il est probable que ces derniers sujets avaient accommodé, car il est assez rare de trouver de l'aberration surcorrigée dans un œil au repos; j'en ai pourtant rencontré des exemples, surtout parmi des personnes ayant une pupille large. Au contraire, pendant l'accommodation, il est de règle que l'aberration soit surcorrigée, comme nous le verrons plus tard.

53. Expériences de Th. Young. — Longtemps avant *Volkmann*, *Young* avait déjà exécuté une série d'expériences bien plus concluantes, mais qui avaient été oubliées.

a. Un œil myope voit un point lumineux éloigné comme un cercle de diffusion dont l'éclat est concentré au milieu, si l'œil possède de l'aberration de sphéricité (fig. 65, I). Si l'aberration est surcorrigée ou si le

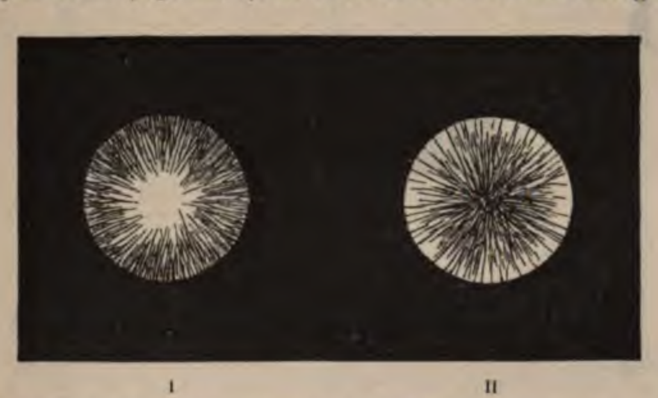


Fig. 65. — Distribution de la lumière du cercle de diffusion dans un œil à forte aberration (Antonelli). En I, le point lumineux se trouve au delà; en II, en deçà du foyer.

point lumineux se trouve en deçà du remotum, ce sont les bords qui sont les plus lumineux; un œil aplanétique ou à peu près voit le cercle d'un éclat uniforme. Pour répéter l'expérience quand on n'est pas myope, on place devant l'œil un verre convexe de 3-4 dioptries. Beaucoup d'yeux dont le système optique est irrégulier aperçoivent des concentrations excentriques de la lumière; j'y reviendrai tout à l'heure (1).

(1) *Young* ne mentionne pas l'expérience sous cette forme, mais elle est une conséquence d'autres expériences qu'il décrit. Pour l'expérience *b*, il se servait des barres séparant les quatre fentes de son optomètre.

b. En promenant une aiguille devant l'œil rendu myope pendant qu'on fait l'expérience *a*, on voit l'ombre de l'aiguille dans le cercle de diffusion. Si l'ombre reste droite partout, il n'y a pas d'aberration sensible ; si elle est courbe, sa concavité vers la périphérie indique de l'aberration ordinaire ; sa concavité vers le centre est l'indice d'aberration surcorrigée. On peut exécuter l'expérience dans les différents méridiens et constater ainsi que l'aberration n'est pas toujours la même dans les différentes directions.

J'ai construit un petit instrument, l'*aberroscope* (fig. 66), consistant en une lentille plan-convexe qui, de son côté plan, porte un micromètre en forme de quadrillage. On regarde un point lumineux éloigné à travers la lentille, en l'éloignant à 10 ou 20 centimètres de l'œil, pour observer si les lignes paraissent alors courbes ou non.

Fig. 66. — L'aberroscope.

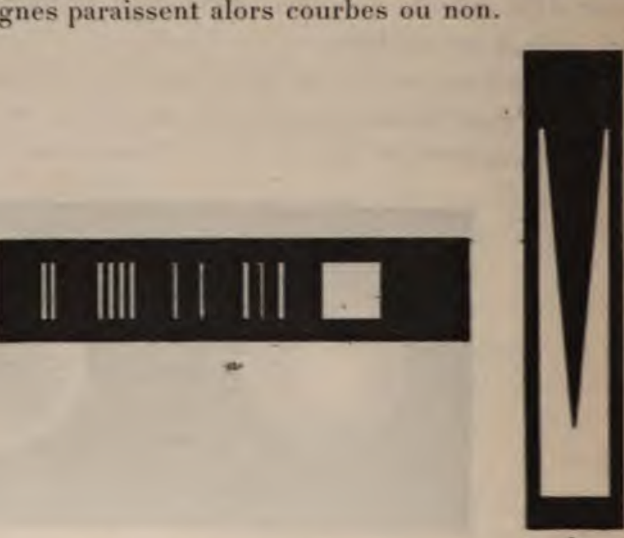


Fig. 67. — Les réglettes de l'optomètre de Young.

c. L'OPTOMÈTRE DE YOUNG permet de mesurer directement l'aberration de sphéricité. Dans la réglette horizontale (fig. 67) sont pratiquées, à gauche, deux fentes, très étroites et très voisines ; en regardant la ligne à travers ces fentes, on détermine la réfraction centrale, en observant l'entre-croisement des deux lignes apparentes, ainsi que je l'ai expliqué au chapitre V. Il faut avoir bien soin de placer les fentes de telle façon que les deux lignes paraissent toutes les deux de même netteté, ce qui a lieu lorsque les fentes se trouvent à peu près au milieu de la pupille. Cela fait, on amène l'ouverture quadrangulaire devant la lentille, et on fait descendre peu à peu la réglette verticale qui porte la lame triangulaire, de manière

à exclure une partie toujours plus grande du milieu de la pupille. On voit alors deux lignes croisées qui s'écartent de plus en plus, jusqu'à ce que l'une d'elles disparaisse au moment où la largeur de la lame est égale au diamètre de la pupille. On remonte ensuite un peu la réglette, de manière à voir de nouveau deux lignes, et on mesure la réfraction. La différence entre cette mesure et celle faite avec les deux fentes placées au centre indique le degré de l'aberration.

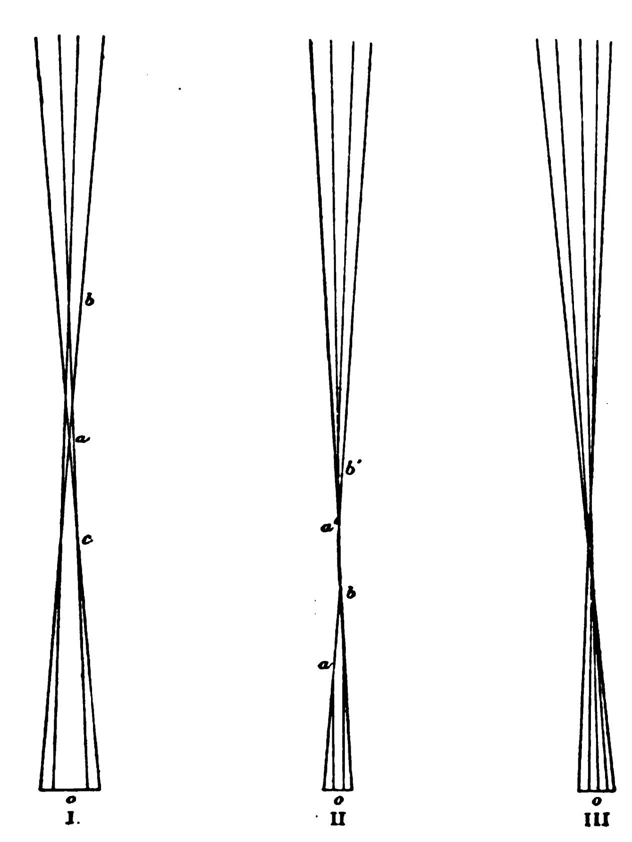


Fig. 68. — I et II. L'aspect que prend la ligne de l'optomètre de *Young*, vue à travers quatre fentes par un œil à forte aberration de sphéricité. O, place de l'œil ; *a* (*a'*), *remotum* des parties périphériques ; *b* (*b'*), *remotum* des parties centrales.

III. L'aspect de la ligne, vue dans les mêmes circonstances par un œil (gauche) à obliquité prononcée. La partie externe de l'espace pupillaire est plus réfringente que la partie interne.

Young faisait les deux mesures à la fois, en employant les quatre fentes de la réglette horizontale. L'expérience faite ainsi est bien plus élégante et plus sûre, mais elle est souvent difficile à réussir, surtout si l'on ne dilate pas la pupille. Elle réussit plus facilement si l'on rapproche les fentes deux à deux, en laissant un intervalle central un peu plus grand. — Avec les quatre fentes on voit quatre lignes (fig. 68, I); s'il y a de l'aberration de sphéricité, les deux lignes centrales s'entre-

croisent plus loin (en *b*) que les deux lignes périphériques (*a*). Le plus souvent, les lignes se confondent en partie, de manière à donner l'aspect de la figure 68, II. La figure 68, III, montre l'aspect que prend la ligne à un œil (gauche) asymétrique, la partie externe de la pupille étant plus réfringente que la partie interne.

On peut aussi mesurer la réfraction au milieu de la pupille avec les deux fentes, comme nous venons de le faire, et déplacer ensuite les fentes successivement vers l'un et vers l'autre des bords, jusqu'à ce que l'une des lignes commence à disparaître. On détermine ainsi la réfraction près des deux bords. Cette expérience, par laquelle on détermine la position du point *c*, figure 68, I, est analogue à celle de la page 93, où nous couvrions les deux ouvertures situées du même côté de la lentille, pour mesurer la réfraction de l'autre côté. Les mesures faites avec les fentes placées périphériquement s'écartent en général plus de celles obtenues avec les fentes centrales que ne le font les mesures faites avec la lame triangulaire, comme c'est aussi le cas pour la lentille.

Résultats. — Examinées avec l'aberroscope, la plupart des personnes accusent un certain degré d'aberration, ce qui répond bien à la forme presque sphérique (torique) de la partie optique de la cornée (fig. 69).



I II

Fig. 69. — Déformation des ombres dans un œil à forte aberration de sphéricité (Antonelli). I, en état de repos; II, pendant l'accommodation. Dans le dernier cas, l'aberration est presque corrigée.

— Puisque les parties périphériques d'une surface sphérique sont trop réfringentes, on peut corriger le défaut en l'aplatissant vers la périphérie. Aussi trouve-t-on quelquefois des personnes dont l'aberration est corrigée ou même surcorrigée vers les bords, où la partie basale de la cornée entre en jeu (fig. 70). Et, si la pupille est placée un peu excentriquement, on peut ainsi rencontrer de l'aberration dans une direction, de l'aberration surcorrigée dans une autre (fig. 71) C'est ainsi que le milieu de ma pupille est légèrement myope et la partie supérieure légè-

rement hypermétrope, tandis que la partie inférieure marginale mesure une myopie de trois dioptries, qui peut même atteindre quatre dioptries quand la pupille est dilatée. J'ai donc de l'aberration de sphéricité en bas (et des deux côtés), de l'aberration surcorrigée en haut. — Un astronome de mes amis a de l'aberration dans le méridien vertical, tandis que le méridien horizontal est corrigé.

On rencontre quelques personnes ayant l'aberration légèrement surcorrigée dans tout l'espace pupillaire (fig. 72). Ce sont probablement des personnes chez lesquelles la partie sphérique de la cornée est peu étendue.

Outre l'aplatissement de la cornée, il est probable que la diminution de



Fig. 70. — Aberration surcorrigée vers les bords.



Fig. 71. — Aberration surcorrigée en haut.



Fig. 72. Aberration surcorrigée partout.

l'indice du cristallin vers la périphérie contribue à corriger l'aberration de sphéricité de l'œil. Considérant la grande ouverture pupillaire et la forte courbure des surfaces, si ces facteurs n'existaient pas, l'aberration devrait être assez forte, de quatre dioptries et davantage ; le plus souvent, elle est bien moins prononcée. D'après des recherches que j'ai entreprises en collaboration avec le docteur *Stadfeldt*, et qui ne sont pas encore terminées, le cristallin semble être presque aplanétique ou un peu surcorrigé.

Bien que l'aberration soit quelquefois très prononcée, elle ne semble pas nuire beaucoup à l'acuité visuelle, tant qu'elle reste tout à fait régulière, remarque que *v. Graefe* a déjà faite à l'occasion de son célèbre cas d'aniridie. La raison en est que les malades se servent non de la partie du cône dont le diamètre est le plus petit, mais d'un autre endroit près de B, figure 61. En plaçant l'écran à cet endroit, l'image d'un point se présente comme un point entouré d'un halo peu lumineux ; si l'éclat de l'objet est faible, comme c'est le plus souvent le cas dans les circonstances ordinaires de la vie, ce halo est trop faible pour être aperçu et

l'image devient assez bonne. — On voit (fig. 61) qu'une section de la caustique (la partie la plus lumineuse du cône) a la forme de la tête d'une flèche. La pointe de cette flèche est dirigée en arrière dans les yeux à aberration ordinaire et en avant dans ceux à aberration surcorrigée ; elle correspond au foyer des rayons centraux, et c'est cette pointe qui sert à la vision ; mais, comme elle est très affilée, il en résulte que la détermination de la réfraction ne peut être d'une exactitude très grande. L'aberration de sphéricité agit, à cet égard, comme un diaphragme étroit ; si l'on diaphragme beaucoup une lentille, il devient très difficile de déterminer exactement son foyer. — Grâce à cette forme de la caustique, les yeux très réguliers peuvent avoir une très belle acuité visuelle, malgré une forte aberration ; mais, dans la plupart des yeux, la réfraction est irrégulière, de sorte que les malades n'ont pas cette ressource (v. le chapitre x). Je pense qu'ils choisissent pourtant en général l'endroit où la section de la caustique est la plus petite et non celui où le cône a le plus petit diamètre.

Bibliographie. — *Œuvres de Th. Young*, p. 153. — Volkmann (A.-W.) dans *Wagner. Handwoerterbuch der Physiologie*, Art. *Sehen*, p. 292. — Meyer (H.). *Ueber die sphaerischen Abweichungen des menschlichen Auges*. Poggendorfs Ann. LXXXIX, p. 540. — Tscherning (M.). *Die monochromatische Abweichungen des menschlichen Auges. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. der Sinnesorgane*, VI, p. 456.

CHAPITRE VIII

ABERRATION CHROMATIQUE

54. Notions d'optique. — En recevant sur un écran un faisceau de rayons blancs qui, après avoir passé par une fente, a traversé un prisme, on obtient ce qu'on appelle un spectre, bande lumineuse contenant toute la gamme des couleurs de l'arc-en-ciel, rangées dans l'ordre suivant : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, violet. Chaque rayon blanc se divise en rayons colorés qui sont réfractés différemment, les rouges le moins, les violets le plus, ce que nous exprimons en disant que l'indice de réfraction du verre est plus grand pour le violet. Si l'on parle de l'indice d'un milieu, sans indication plus précise, c'est en général l'indice des rayons jaunes (la raie de sodium) qu'on vise. — La différence entre l'indice du violet et celui du rouge est désignée comme la *dispersion* du milieu. — Au lieu de recevoir le spectre sur un écran, on peut l'observer directement, en regardant la fente à travers le prisme. Pour cette observation, on combine souvent le prisme avec une lunette astronomique (spectroscope).

Pour que le spectre soit bien pur, il faut : 1° faire usage d'une fente très mince ; 2° interposer une lentille pour que les rayons de chaque couleur soient réunis sur l'écran en une image nette de la fente. Le spectre est donc en réalité composé de toute une série d'images de la fente ; si ces images ne sont pas nettes, elles se superposent en partie et les couleurs ne sont pas pures. — Pour obtenir une très grande pureté des couleurs, il faut employer des précautions spéciales : on projette le spectre sur un écran percé d'une fente à l'endroit où se forme la couleur qu'on désire examiner. Par cette fente à un œil situé derrière l'écran reçoit de la lumière de cette couleur, mélangée avec un peu de lumière blanche, due à la diffusion dans la matière du prisme et de la lentille. Pour éliminer cette lumière blanche, on observe la fente à travers un deuxième prisme. Il forme un spectre qui est partout très faible, excepté à l'endroit de la couleur qu'on désire examiner (*v. Helmholtz*). — La

longueur du spectre dépend de la grandeur de l'angle du prisme et du degré de dispersion du verre : un prisme de *flint* produit un spectre bien plus long qu'un prisme de *crown*. — Au delà du rouge il y a encore des rayons *ultrarouges*, qui sont invisibles, mais qui ont un effet calorifique plus grand que les rayons visibles. Au delà du violet il y a également des rayons *ultraviolets*, qui, dans les circonstances ordinaires, sont invisibles, mais qui agissent sur les plaques photographiques. On peut les rendre visibles en enduisant l'écran d'un liquide « fluorescent » (sulfate de quinine, fluorescéine, etc.). Frappés par les rayons ultraviolets, ces corps renvoient des rayons visibles, le plus souvent bleuâtres ou verdâtres. — Avec certaines précautions on peut voir directement une partie des rayons ultraviolets, peut-être parce que la rétine elle-même est fluorescente. C'est ainsi que M. *Mascart* mentionne un physicien qui pouvait distinguer les lignes de *Fraunhofer* dans la partie ultraviolette du spectre, aussi loin que la plaque photographique peut les reproduire. On ne peut pas rendre les rayons ultrarouges visibles, parce qu'ils ne traversent pas les milieux de l'œil (*Bruecke*).

En général, les milieux qui ont un indice plus fort ont aussi une dispersion plus forte, mais l'indice et la dispersion ne sont pas proportionnels. Tel *flint*, par exemple, présente une dispersion de près du double de la dispersion du *crown*, tandis que son indice est de 1,7, et celui du crown 1,5. — Si l'on combine un prisme de crown avec un autre de flint placé en sens inverse, et dont l'angle est à peu près de moitié moindre, la dispersion peut être neutralisée, tandis qu'il reste une partie assez considérable de la réfraction du crown. Une telle combinaison constitue un *prisme achromatique* (fig. 73).

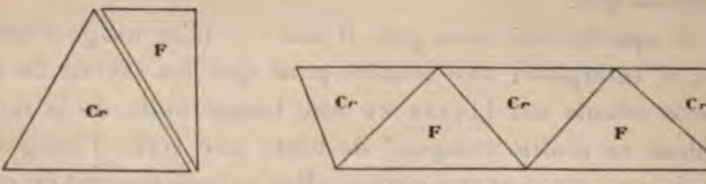


Fig. 73. — Prisme achromatique. Fig. 74. — Prisme à vision directe.

On peut aussi construire des combinaisons de prismes qui ne donnent pas de déviation au rayon sortant, mais qui ont une dispersion assez considérable : on désigne ces combinaisons sous le nom de *prismes à vision directe* (fig. 74) ; elles s'emploient beaucoup pour la construction de spectroscopes.

En traversant une lentille les rayons colorés se séparent aussi. Comme l'indice est plus fort pour les rayons bleus (violets), le foyer bleu se trouve plus près de la lentille que le foyer rouge. C'est là la raison pour

laquelle le cercle de diffusion d'une lentille convexe est bordé de rouge en deçà du foyer, de bleu au delà. — On peut rendre les lentilles achromatiques d'après le même système que pour les prismes : on combine une lentille convexe de *crown* avec une lentille concave, moitié moins forte en *flint*. Les cercles de diffusion d'une telle lentille ne présentent plus les bords rouges et bleus, mais il reste encore des traces d'autres couleurs (vert et pourpre). *Zeiss* à Iéna a aussi fait disparaître ces dernières en combinant plusieurs verres de différentes espèces, fabriqués spécialement pour cet usage (systèmes apochromatiques).

55. Aberration chromatique de l'œil. — L'œil n'est pas achromatique, comme on l'a cru pendant longtemps. La question a joué un rôle assez curieux dans l'histoire de l'optique. *Newton* croyait que la dispersion d'un milieu était proportionnelle à son indice et que, par conséquent, la construction d'un objectif achromatique était une chimère ; c'est pourquoi, renonçant aux lunettes astronomiques, il adopta les télescopes catoptriques. Mais *Euler* vint dire que, l'œil étant achromatique, il devait être possible de construire des lentilles achromatiques, et cette remarque conduisit l'opticien *Dollond* à construire les objectifs ainsi corrigés. Plus tard, *Wollaston* démontrait que l'œil n'est pas achromatique. Ce n'est pas la seule fois qu'on soit arrivé à des résultats utiles en partant d'une fausse hypothèse.

56. Expérience de Wollaston. — Un point lumineux vu à travers un prisme donne un spectre linéaire. Mais, en faisant l'expérience, on remarque qu'on ne peut pas voir nettement à la fois toute l'étendue du spectre. Si le point lumineux est à grande distance, l'œil emmétrope voit l'extrémité rouge du spectre comme une ligne nette, tandis que l'extrémité bleue est élargie et souvent divisée en deux (« en queue d'hirondelle »). Si l'on se rapproche, en ayant soin de ne pas accommoder, on trouve une distance où l'on est au point pour l'extrémité bleue, tandis que l'extrémité rouge est diffuse à son tour. L'observateur peut donc déterminer son *remotum* pour chaque extrémité du spectre ; la différence donne le degré d'aberration chromatique.

Wollaston a également attiré l'attention sur un autre phénomène de l'aberration chromatique : les bords colorés qu'on voit le long des lignes de l'optomètre de *Young*.

Expériences avec le verre de cobalt. — En plaçant un point lumineux tel qu'un trou dans un écran opaque en deçà du *proximum*, on voit un cercle de diffusion bordé de rouge, absolument comme lorsque nous avons fait l'expérience analogue avec la lentille ; il est plus difficile de

voir le bord bleu qui entoure le point, lorsqu'il est situé au delà du *remotum*. L'expérience est bien plus frappante lorsqu'on observe le point à travers un verre de cobalt. Ces verres ne laissent guère passer que les rayons rouges et bleus ; en regardant un point lumineux, situé en deçà du *proximum*, à travers un tel verre, on le voit bleu et entouré d'un halo rouge. Si le point lumineux est situé au delà du *remotum*, on voit au contraire un point rouge entouré de bleu.

Expériences de Fraunhofer. — Ce savant déterminait la distance à laquelle il pouvait voir nettement un réticule placé, tantôt dans la lumière spectrale rouge, tantôt dans la lumière bleue. On obtient ainsi des mesures très exactes.

57. Résultats. — *Young* évalua l'aberration chromatique de l'œil à 1,3 D., *Fraunhofer* trouva de 1,5 à 3 D., *Helmholtz* donne 1,8 D. Le chiffre est difficile à déterminer exactement, puisque la limite inférieure du spectre visible n'est pas bien définie. — La dispersion de l'œil est un peu plus grande qu'elle ne serait si l'œil était rempli d'eau.

L'œil n'est donc pas achromatique et, comme nous avons vu, il est facile de s'en persuader, lorsque l'objet est situé au delà du *remotum* ou en dedans du *proximum*. Mais, lorsque l'objet se trouve à une distance où il peut être vu nettement, on ne voit pas de bords colorés. L'explica-

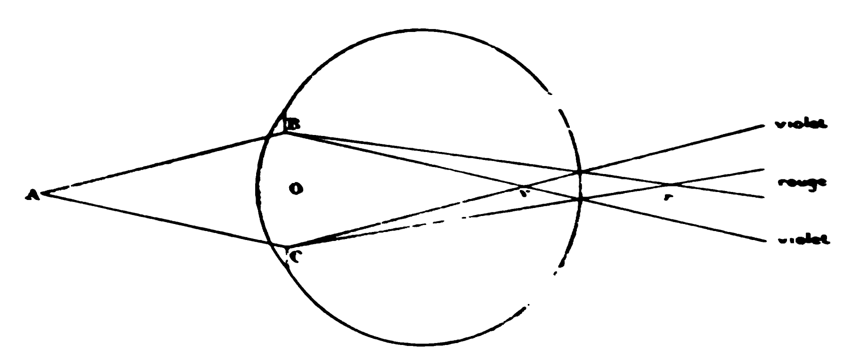


Fig. 75. — Aberration chromatique de l'œil.

tion qu'on donne de ce fait est la suivante. Soit A (fig. 75) un point lumineux qui envoie le cône ABC dans l'œil. Après la réfraction, les rayons blancs se divisent en rayons colorés, les rayons rouges forment le cône BrC, les rayons violets, qui sont plus réfractés, le cône BvC, et l'œil s'accommode de manière à ce que la rétine se trouve entre les deux foyers, placée de façon que le cercle de diffusion rouge couvre le cercle de diffusion bleu (v. fig. 75). Les rayons intermédiaires du spectre, les jaunes et les verts, qui sont les plus lumineux, sont alors concentrés au

milieu du cercle de diffusion, où ils coïncident avec une partie du rouge et du violet, tandis que les parties périphériques du rouge et du violet forment un bord pourpre tout autour; mais ce bord est très étroit, et, comme il est formé par les rayons extrêmes du spectre, qui sont très peu lumineux, il est trop faible pour être aperçu. — En observant un point lumineux avec une lunette astronomique dont l'objectif n'est pas très bien achromatisé, on observe les mêmes phénomènes : si la lunette est au point pour un point plus rapproché, le cercle apparaît entouré de bleu ; dans le cas contraire, il est bordé de rouge et, lorsque le point est vu nettement, il est entouré d'un bord pourpre très étroit. — Si on remplace le point A par un objet blanc, il en est de même : dans le dernier cas on ne voit pas de bords colorés.

58. Phénomènes de dispersion, la pupille étant en partie couverte. — Il en est autrement si l'on couvre une partie de la pupille avec un écran. Qu'on fixe par exemple le montant d'une fenêtre à travers laquelle on voit le ciel. En couvrant la moitié droite de la pupille avec un écran, on voit le bord *aa* (fig. 76) se colorer en bleu, le bord *bb* en jaune. Pour expliquer ce fait, examinons le point *a*, le dernier point lumineux de la fenêtre à droite, et figurons-nous que le point A de la figure 75 soit ce point : en couvrant la moitié (BO, fig. 75) de la pupille, au lieu d'un cercle de diffusion uniformément éclairé de violet et de rouge, on a un cercle dont la moitié droite est violette et la moitié gauche rouge. Cette dernière moitié est couverte par le cercle de diffusion du point suivant de la fenêtre à droite, et n'est pas visible ; il reste donc un bord bleu (violet) le long du montant. Du point *b* c'est au contraire la moitié rouge (jaune) du cercle de diffusion qui n'est pas couverte. — On observe souvent des phénomènes très frappants, dus à l'aberration chromatique de l'œil, en fixant des objets noirs sur fond blanc, placés à une distance pour laquelle l'œil ne peut pas s'accommoder. Vues vers le ciel, les fentes de l'optomètre de Young présentent ainsi des colorations très vives. — L'aberration chromatique augmente avec le diamètre de la pupille. Pour l'étudier, il est donc utile de se servir de mydriatiques.



Fig. 76.

59. Correction de l'aberration chromatique. — On pourrait corriger l'aberration chromatique de l'œil avec une lentille concave de *flint*, absolument comme on peut corriger l'aberration chromatique d'une lentille convexe de crown. La dispersion du flint est d'environ trois fois celle de

l'œil. Comme le système réfringent de l'œil est d'environ soixante dioptries, il faudrait une lentille concave de flint d'environ vingt dioptries pour corriger cette aberration. Un myope de vingt dioptries, qui corrigerait son amétropie avec une lentille de flint, aurait donc en même temps corrigé son aberration chromatique. Un emmétrope serait obligé d'ajouter à cette lentille une lentille achromatique convexe de vingt dioptries pour rester emmétrope. Les essais qui ont été faits dans cette direction *(v. Helmholtz, Javal)* n'ont pas donné une amélioration bien prononcée de l'acuité visuelle.

Bibliographie. — *Œuvres de Young*, p. 154. — Wollaston. *Phil. trans.*, 1801, p. 50. — Fraunhofer (J.) *Gilberts Ann.*, LVI, p. 304. — v. Bezold (W.). *Graefes Arch. f. Ophth.*, XIV, 2, p. 1.

CHAPITRE IX

ASTIGMATISME RÉGULIER

60. Notions d'optique. Astigmatisme produit par la forme des surfaces. — Pour se rendre compte de la forme du faisceau astigmate, on peut faire l'expérience suivante. On combine un verre cylindrique convexe à axe horizontal avec une lentille convexe assez forte. Pour ne pas être gêné par l'aberration de sphéricité qui change considérablement les phénomènes, on choisit une lentille aplanétique. Le faisceau émané d'un

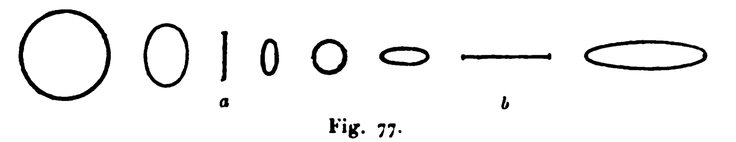


Fig. 77.

Cercles de diffusion et lignes focales d'un système régulièrement astigmate. D'après *Fuchs*.
(Pour que la figure soit d'accord avec le texte, il faut se figurer la première ligne focale *a* horizontale, la deuxième *b* verticale.)

point lumineux éloigné, réfracté par la combinaison sphéro-cylindrique, est reçu sur un écran qu'on éloigne peu à peu de la lentille. Alors, au lieu d'un cercle de diffusion dont le diamètre diminue, à mesure que l'écran s'éloigne pour devenir un point lorsque l'écran est au foyer, et pour redevenir circulaire au delà, on obtient les formes représentées sur la figure 77.

Les deux droites se nomment *lignes focales* ; la distance qui les sépare s'appelle *distance interfocale*, et les méridiens du système optique auxquels elles correspondent sont les *méridiens principaux*. L'ensemble des rayons ne forme plus un cône où tous les rayons passent par un point, mais un système plus compliqué, caractérisé par cette circonstance que tous les rayons passent par deux petites droites perpendiculaires entre elles (les lignes focales). Le système porte le nom de conoïde de *Sturm*.

La première ligne focale est au foyer du méridien le plus réfringent (dans notre cas, le méridien vertical) ; elle est parallèle au méridien le

moins réfringent ; la deuxième ligne focale est au foyer du méridien le moins réfringent et parallèle au méridien le plus réfringent. Les taches de diffusion sont partout des ellipses, excepté en un point de la distance interfocale où la tache lumineuse est circulaire.

Dans les méridiens principaux, la réfraction a lieu comme si les lentilles étaient sphériques ; un rayon incident parallèle à l'axe vient couper celui-ci au foyer du méridien. Les rayons qui ne sont pas situés dans les méridiens principaux ne rencontrent pas l'axe ; leur marche sera indiquée plus loin.

La longueur des lignes focales est proportionnelle à la distance de ces lignes à la lentille. En effet, soit F′ (fig. 78) (1) la distance de la pre-

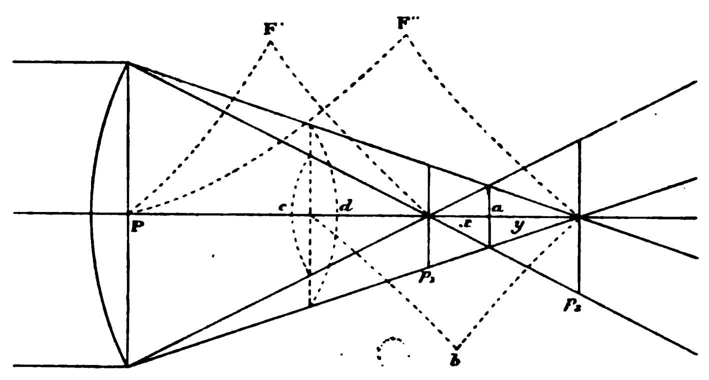


Fig. 78. — p_1, ligne focale horizontale ; p_2, ligne focale verticale.

mière ligne focale, F″ celle de la seconde, P le diamètre de la lentille, p_1 et p_2 les longueurs des deux lignes focales. On a alors :

$\frac{p_1}{P} = \frac{F'' - F'}{F''}$ et $\frac{p_2}{P} = \frac{F'' - F'}{F'}$; par conséquent, en divisant

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{F'}{F''}$$

Le cercle de diffusion circulaire est en a, où les diamètres sont égaux. *Il divise la distance interfocale en deux parties, qui sont proportionnelles aux distances focales.* Car, en désignant le diamètre à cet endroit par a et les deux parties de la distance interfocale par x et y, on a :

$\frac{a}{p_1} = \frac{y}{x+y}$ et $\frac{a}{p_2} = \frac{x}{x+y}$, donc, en divisant :

$$\frac{y}{x} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{F''}{F'}$$

Toutes les autres taches de diffusion sont des ellipses dont il est

(1) Il faut se figurer qu'on a fait subir au méridien vertical une rotation de 90° autour de l'axe, de manière à pouvoir dessiner les deux lignes focales dans le même plan.

facile de calculer les axes. En plaçant un écran à une distance b de la deuxième ligne focale, on voit, en effet (fig. 78), que les axes c et d de l'ellipse se trouvent par les équations $\frac{c}{P} = \frac{b - (F'' - F')}{F'}$ et $\frac{d}{P} = \frac{b}{F''}$, équations qui donnent comme rapport entre les axes :

$$\frac{c}{d} = \frac{b - (F'' - F')}{F'} \cdot \frac{F''}{b}.$$

Connaissant les axes, on peut trouver l'ellipse par construction (fig. 79). On trace un cercle avec la moitié du grand axe d (fig. 78) comme rayon, on y mène les deux diamètres horizontal et vertical BD et AE, et on marque les points A′ et E′ de façon que $OA' = OE' = \frac{c}{2}$. BD et A′E′ sont

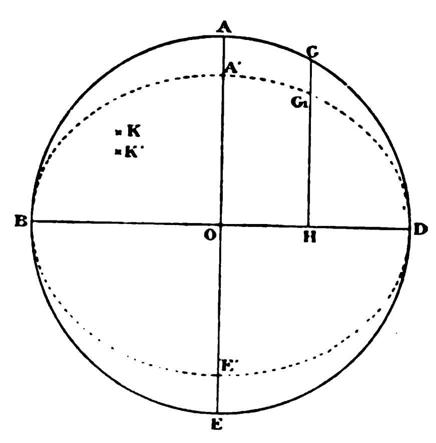


Fig. 79. — Construction de la tache de diffusion elliptique.

alors les deux axes de l'ellipse, et on peut trouver un point quelconque, G_1, de l'ellipse, en abaissant la perpendiculaire GH sur le grand axe et en marquant le point G_1 de façon que $\frac{G_1H}{GH} = \frac{c}{d}$.

On peut employer cette construction pour trouver la marche des rayons qui ne sont pas situés dans les plans principaux. Admettons, en effet, qu'un de ces rayons passe par un point donné de la lentille. Si le système optique était sphérique et de la force du méridien le moins réfringent, on aurait un cercle de diffusion de diamètre BD, dans lequel il serait facile de trouver le point K par lequel passerait le rayon, puisque ce cercle ne serait qu'une image diminuée de la lentille. Ayant déterminé la position du point K, on trouve le point K′ par lequel passe en réalité le rayon, en réduisant la distance de K au grand axe dans la proportion $\frac{c}{d}$.

61. Défectuosités de l'image. — Comme l'image d'un point n'est jamais exactement un point, l'image d'un objet ne peut jamais être bien nette. En dehors des lignes focales, les contours sont tous plus ou moins flous.

Si l'écran se trouve en p_1, les lignes horizontales seules sont nettes ; s'il se trouve en p_2, ce sont les lignes verticales qui sont nettes. L'image est meilleure en p_2 qu'en p_1, puisque la première ligne focale est la plus courte.

Avec un cylindre fort relativement au verre sphérique, l'image devient si mauvaise qu'elle est méconnaissable ; avec + 6 sphérique combiné avec + 3 cylindrique de nos boîtes, il est impossible de former une image sur un écran. Si, au contraire, on place cette combinaison à une distance assez grande de l'œil pour voir l'image renversée, cette image est assez bonne, parce que la pupille de l'observateur forme diaphragme ; mais elle est déformée, toutes les dimensions parallèles au méridien le plus réfringent étant fortement diminuées.

62. Surfaces astigmatiques. — Nous avons jusqu'ici obtenu la réfraction astigmate par une combinaison de surfaces sphériques et cylindriques, mais on peut obtenir le même résultat par réfraction à travers une seule surface réfringente. — Si l'ouverture est très petite, on obtient ce résultat avec une surface quelconque (1). Car une petite partie d'une surface quelconque présente toujours deux méridiens principaux, perpendiculaires entre eux, l'un de courbure maxima et l'autre de courbure minima. Les rayons incidents situés dans ces plans y restent après réfraction et vont rencontrer l'axe après la réfraction ; les rayons qui ne sont pas situés dans ces méridiens ne rencontrent pas l'axe, mais passent par deux lignes focales, perpendiculaires sur l'axe et situées dans les méridiens principaux. — Parmi les surfaces pour lesquelles ceci est vrai, même pour une ouverture assez grande, au moins approximativement, il en est deux particulièrement remarquables : l'ellipsoïde à trois axes et le tore.

En faisant tourner une ellipse autour de son grand axe, on obtient un ellipsoïde de révolution. Et si on se figure qu'il subit un aplatissement dans un sens perpendiculaire au grand axe, on obtient *un ellipsoïde à trois axes.* Le point lumineux doit se trouver sur le grand axe. — Les deux méridiens principaux sont elliptiques (comme toute autre section de cette surface).

Le *tore* est la surface qu'on obtient en faisant tourner un cercle autour d'un axe situé dans son plan (*ab*, fig. 80). En découpant une partie voisine de A, on aurait une surface astigmate dont les méridiens principaux seraient circulaires ; l'un aurait le même rayon que le cercle (R_1) ;

(1) Il faut excepter le plan, la sphère, la partie voisine de l'axe des surfaces de révolution, et celle voisine des points dits ombilicaux des autres surfaces, en supposant l'incidence normale. Autrement, la réfraction est toujours astigmate.

le rayon de l'autre (R_2) serait égal à la distance de l'axe au sommet du cercle. Le point lumineux doit se trouver sur le prolongement de AO.

Même avec ces surfaces on n'obtient pas une action astigmatique pure, lorsque l'ouverture est un peu grande. Il est clair qu'à cause de l'aberration de sphéricité les parties périphériques des méridiens principaux du tore doivent avoir une réfraction plus forte que les parties centrales ; aussi l'astigmatisme d'une zone périphérique devient plus fort que celui de la partie centrale, puisque la réfraction augmente plus vite vers la périphérie dans le méridien principal le plus courbe. — A cause de l'aplatissement vers la périphérie, l'aberration est moindre pour l'ellipsoïde ; l'un des méridiens peut même être aplanétique pour un objet éloigné, mais alors l'autre méridien est ou surcorrigé ou souscorrigé, de sorte que l'effet astigmatique n'est jamais pur.

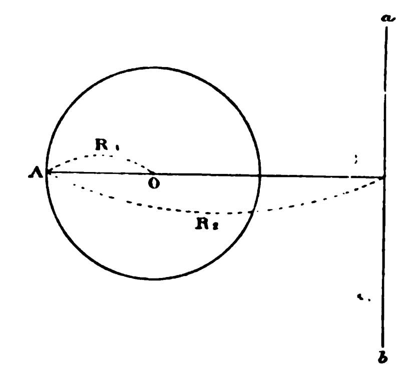


Fig. 80. — Par la révolution autour de la droite *ab*, le cercle produit un tore.

63. Astigmatisme par incidence. — Plaçons une lentille sphérique à quelque distance d'un point lumineux et formons l'image de ce point sur un écran ; faisons ensuite subir à la lentille une rotation autour d'un axe vertical. L'écran cesse aussitôt d'être au point ; il faut le rapprocher

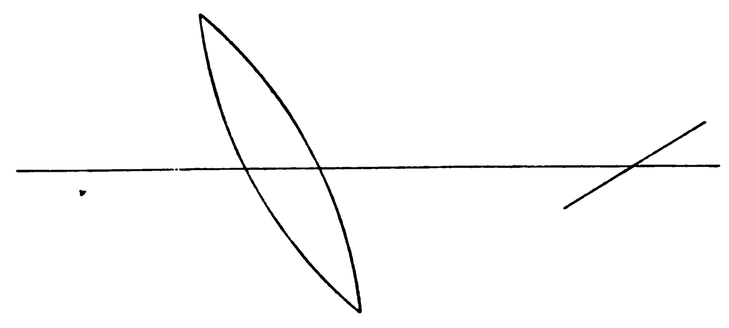


Fig. 81. — Ligne focale d'une lentille placée obliquement.

de la lentille, et on constate en même temps que le faisceau réfracté est astigmate. La ligne focale horizontale est plus loin de la lentille que la ligne focale verticale. *La réfraction a donc augmenté dans les deux méridiens, mais plus dans celui qui contient l'axe de la lentille et le point lumineux.*

Les lignes focales sont loin d'être nettes, surtout si l'on ne diaphragme

fluence guère la vision. On désigne cet astigmatisme comme physiologique. On a discuté la question de savoir à partir de quel degré on devait considérer l'astigmatisme comme pathologique ; les uns ont mis la limite à 0,5 D. ou à 0,75 D., les autres à 1 D. ou 1,5 D. Chez certains individus on peut améliorer la vision avec un cylindre de 0,75 ; d'autres, au contraire, n'observent aucune amélioration quoiqu'ils aient en réalité le même degré d'astigmatisme. L'ouverture de la pupille et surtout la plus ou moins grande régularité du faisceau astigmate jouent ici un grand rôle. Un des meilleurs moyens pour déceler les faibles degrés d'astigmatisme consiste à observer la forme sous laquelle apparaît un point lumineux placé à différentes distances. Si le point lumineux indique une trace d'astigmatisme, on peut en général aussi la constater avec la figure étoilée et un verre cylindrique faible, en plaçant celui-ci d'abord dans la position correcte et ensuite dans la position opposée. Le malade indique alors que la première position égalise les lignes mieux que la dernière.

66. Astigmatisme cornéen. — Le siège principal de l'astigmatisme est dans la surface antérieure de la cornée, ce qui n'a rien d'étonnant, puisque c'est à cet endroit qu'a lieu le principal changement d'indice. Une déformation de l'une des surfaces internes de l'œil, qui, à la surface antérieure de la cornée, produirait un astigmatisme considérable, n'a que peu d'effet, à cause de la faible différence d'indice des milieux. La réfraction s'exprime, comme nous avons vu, par $\frac{(n-1)\,1\,000}{R}$ (v. p. 13), c'est-à-dire, pour la cornée, par $\frac{337.5}{R}$, et, pour une des surfaces internes, par $\frac{60}{R}$. La même déformation produirait donc un effet cinq ou six fois moindre.

On conçoit aussi que, dans l'œil normal, l'astigmatisme par incidence ne puisse guère jouer un rôle, puisque la ligne visuelle passe approximativement par le centre de courbure de la cornée et par le milieu de la pupille. Il en est autrement dans les cas où il existe une corectopie notable, et surtout dans le cas de pupille artificielle. — Dans les circonstances ordinaires, c'est donc la *forme* de la surface antérieure de la cornée qui détermine principalement l'astigmatisme ; aussi, l'examen de cette surface joue-t-il un rôle considérable dans la recherche de l'astigmatisme.

67. Mensuration de l'astigmatisme cornéen. — Il existe différents moyens pour examiner si la cornée est astigmate et pour juger le degré de sa déformation (disque de *Placido*, kératoscope de *de Wecker* et *Mas-*

selon, etc.); mais, pour le mesurer, on ne peut guère songer à se servir d'autre chose que de l'ophtalmomètre de *Javal et Schiœtz*, dont nous avons déjà donné la description. Le progrès qu'il marque, comparé avec les anciens ophtalmomètres, consiste surtout dans la facilité avec laquelle on trouve les méridiens principaux au moyen de ce qu'on appelle la *dénivellation*. Si l'arc se trouve dans un méridien principal, les images des deux mires doivent être au même niveau, les lignes noires qui se trouvent au milieu des mires doivent se trouver dans le prolongement l'une de l'autre. En dehors des méridiens principaux, il y a une dénivellation d'autant plus forte que l'astigmatisme est plus prononcé.

Pour expliquer ce phénomène, examinons une cornée sphérique après avoir enlevé le prisme biréfringent de l'instrument, qui agit alors comme

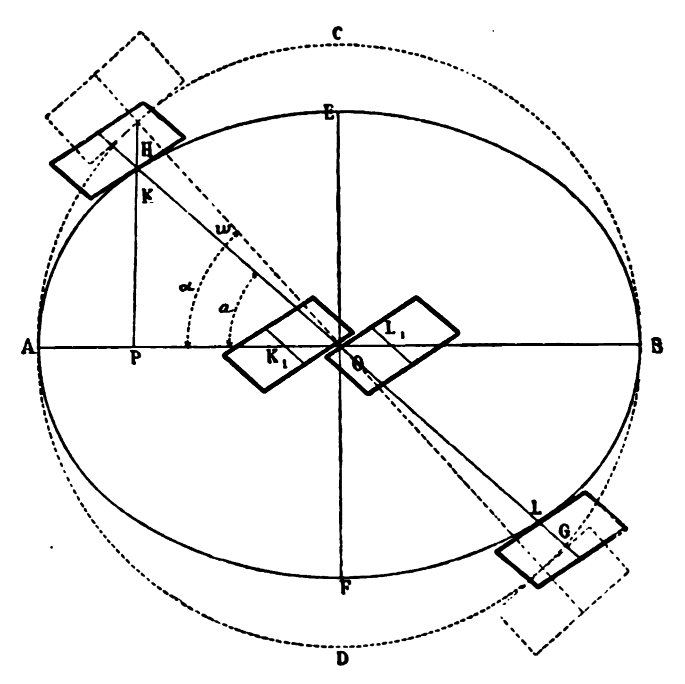


Fig. 83. — Explication de la dénivellation.

une simple lunette. On ne voit alors que les images des deux mires, séparées par un intervalle d'environ 3 millimètres. En tournant l'arc, ces images décrivent un cercle. Soit ACBD, figure 83, ce cercle auquel les images des mires restent tout le temps tangentes. Remettons le prisme en place. Puisque les images se trouvent dans le même méridien que les mires elles-mêmes, et que le dédoublement du prisme a lieu exactement dans ce méridien, il n'y aura pas de dénivellation. — Si on remplace la cornée sphérique par une cornée astigmate, dont le méridien vertical

soit le plus courbe, le cercle ACBD est remplacé par l'ellipse AEBF, qu'on construit de la manière indiquée page 109, en réduisant la distance de chaque point à AB dans la proportion des rayons des deux méridiens principaux. Par cette construction, le diamètre pointillé devient le diamètre KL, sur lequel se trouvent maintenant les images. Celles-ci ne sont donc plus situées dans le méridien des mires, et, comme le prisme agit toujours dans la direction parallèle à ce méridien, il en résulte qu'en obtenant le contact les deux images ne sont pas au même niveau. Alors seulement que l'arc se trouve dans un des méridiens principaux, les mires et leurs images se trouvent dans le même plan et il n'y a pas de dénivellation.

On peut se rendre compte de la différence entre l'image produite par une cornée sphérique et celle d'une cornée astigmate, en dessinant sur une feuille de papier un cercle avec deux diamètres obliques, perpendiculaires l'un sur l'autre, et en observant l'image renversée qu'en forme une forte lentille sphérique tenue à quelque distance de l'œil. L'image est identique au dessin; mais si l'on ajoute un cylindre convexe à axe horizontal, le cercle est remplacé par une ellipse à grand axe horizontal et les deux diamètres forment entre eux des angles obtus en haut et en bas.

Après avoir mis l'oculaire au point pour le réticule et ensuite l'instrument au point pour l'œil, on commence par chercher le méridien le moins réfringent. On met les mires en contact et on fait subir à l'arc une rotation de 90°. Cela fait, les images des mires se couvrent en partie et le nombre de gradins couverts indique le degré de l'astigmatisme en dioptries. — Si l'on désire des mesures très exactes, on fait mieux en cherchant chacun des méridiens séparément, et en obtenant le contact dans chacun d'eux. On lit la réfraction de chaque méridien sur l'arc, et la différence indique l'astigmatisme. — On remarque quelquefois que les deux méridiens principaux ne sont pas exactement perpendiculaires l'un sur l'autre; cela tient à la distance relativement grande entre les mires, car les méridiens principaux d'un élément d'une surface sont toujours perpendiculaires entre eux. — Le fait est attribuable à ce que les méridiens, au lieu d'être des sections planes de la cornée, possèdent une certaine courbure.

68. Astigmatisme cornéen régulier. — On distingue entre l'astigmatisme *direct*, où le méridien le plus réfringent ne s'écarte pas beaucoup de la verticale, et l'astigmatisme *inverse*, où c'est le méridien horizontal qui est le plus réfringent. Si la direction des méridiens s'écarte beaucoup des directions horizontale et verticale, on dit que l'astigmatisme est *oblique*.

Schioetz et *Nordenson* ont dressé des statistiques sur la direction de l'astigmatisme cornéen chez des écoliers. Voici les résultats de *Nordenson* :

Astigmatisme cornéen,	nul	9	p. 100
— —	direct	77	—
— —	inverse	1	—
— —	oblique	12	—

30 p. 100 avaient un astigmatisme d'au moins 1 D., 2 p. 100 un astigmatisme supérieur à 1,5 D. — Il semble que l'astigmatisme inverse devienne plus fréquent avec l'âge, et que l'astigmatisme direct se change en astigmatisme inverse, sous l'influence d'une augmentation de la tension. *Pfalz* et *G. Martin* ont ainsi trouvé l'astigmatisme inverse très fréquent chez les glaucomateux, et les recherches expérimentales d'*Eissen* sur des yeux de lapin confirment ce résultat.

Excepté dans les cas postopératoires, l'astigmatisme cornéen ne dépasse que très rarement le degré de 5 à 6 D. ; l'astigmatisme inverse et l'astigmatisme oblique ne sont jamais aussi prononcés. — S'il y a une différence entre le degré de l'astigmatisme des deux yeux de la même personne, on trouve en général que l'œil le plus astigmate a le maximum de courbure plus grand, le minimum de courbure plus faible, que ceux de l'autre œil, mais la différence est en général plus grande pour le méridien le plus réfringent (*Javal*).

69. Rapports entre l'astigmatisme ophtalmométrique et l'astigmatisme subjectif. — Nous avons dit que les premières mensurations ophtalmométriques ont été faites par *Donders* et par *Knapp*. Ils s'aperçurent qu'il existe un certain écart entre les mensurations ophtalmométriques et les mesures subjectives. Ils attribuèrent cet écart à un astigmatisme du cristallin, qui agirait dans le sens contraire de celui de la cornée. Depuis lors, on a beaucoup parlé de l'astigmatisme cristallinien, mais ce qu'on a dit là-dessus est purement hypothétique, car si j'excepte quelques mensurations que j'ai faites avec l'ophtalmophakomètre, et sur lesquelles je reviendrai plus tard, je ne crois pas que personne ait observé directement l'astigmatisme du cristallin. Or, la différence entre l'astigmatisme ophtalmométrique et l'astigmatisme subjectif peut être attribuée à beaucoup d'autres causes. Pour ne rien présumer sur la nature de cette différence, je la désignerai sous le nom d'*astigmatisme supplémentaire*. D'après la plupart des observateurs, le rôle qu'il joue est le suivant :

1° Si l'astigmatisme ophtalmométrique est nul, on trouve en général un léger astigmatisme inverse subjectif ;

2° Si l'astigmatisme ophtalmométrique est inverse, l'astigmatisme subjectif est en général inverse et plus grand ;

3° Si l'astigmatisme ophtalmométrique est direct et d'une valeur intermédiaire entre 1 et 3 D., l'astigmatisme subjectif n'en diffère en général que peu ;

4° Si l'ophtalmomètre donne un astigmatisme direct et plus grand que trois dioptries, l'astigmatisme subjectif est également direct, souvent plus grand.

M. *Javal* a essayé d'exprimer le rapport entre l'astigmatisme subjectif (As_t) et l'astigmatisme ophtalmométrique (As_c) par la formule empirique :

$$As_t = k + p.\ As_c,$$

formule dans laquelle k et p sont deux constantes, $k = 0{,}5$ D. *inv.* et $p = 1{,}25$. — Cette formule donnerait le rapport suivant :

	inverse.			direct.					
As. opht.	2 —	1 —	0 —	1 —	2 —	3 —	4 —	5 —	6 dioptries
As. subj.	3 —	1,75 —	0,5 —	0,75 —	2 —	3,25 —	4,5 —	5,75 —	7 dioptries
	inverse.			direct.					

Il est bien entendu que ceci comporte beaucoup d'exceptions, car l'astigmatisme supplémentaire dépend de tant de facteurs, qu'il est très difficile de donner une expression générale de sa valeur. Parmi ces facteurs, je citerai les suivants :

1° *La déformation des surfaces internes.* — Quoique ces déformations, comme je l'ai déjà remarqué, jouent un rôle assez grand dans la littérature, on a jusqu'à présent complètement ignoré cette question. Pour donner une idée du rôle qu'elles pourraient jouer, j'ajoute le tableau suivant, qui donne les résultats pour quelques yeux que j'ai mesurés :

	Mme T.	*Dr.* B.	M. V.
Épaisseur de la cornée	1mm,15	1mm,06	1mm,31
Position de la cristalloïde antérieure	3mm,54	4mm,24	3mm,66
Épaisseur du cristallin	4mm,06	3mm,98	4mm,25
Surface antérieure de la cornée :			
Rayon. Méridien horizontal	7mm,98	7mm,78	8mm,29
— — vertical	7mm,60	7mm,90	8mm,33
Réfraction horizontale	47,24 D.	48,46 D.	45,48 D.
— verticale	49,60 D.	47,72 D.	45,26 D.
Surface postérieure de la cornée :			
Rayon. Méridien horizontal	6mm,22	5mm,66	6mm,17
— — vertical	5mm,55	5mm,11	5mm,87
Réfraction horizontale	— 4,73 D.	— 5,19 D.	— 4,77 D.
— verticale	— 5,30 D.	— 5,76 D.	— 5,01 D.

Surface antérieure du cristallin :			
Rayon. Méridien horizontal.	10mm,20	12mm,26	10mm,42
— — vertical.	10mm,10	10mm,09	9mm,33
Réfraction horizontale	6,13 D.	5,10 D.	6,00 D.
— verticale	6,19 D.	6,19 D.	6,70 D.
Surface postérieure du cristallin :			
Rayon. Méridien horizontal	6mm,17	6mm,38	6mm,73
— — vertical.	6mm,24	7mm,11	8mm,49
Réfraction horizontale	9,53 D.	9,22 D.	8,73 D.
— verticale	9,42 D.	8,27 D.	6,93 D.
Astigmatisme en Dioptries :			
Surface antérieure de la cornée	2,36 *d*	0,74 *i*	0,22 *i*
— postérieure de la cornée.	0,57 *i*	0,57 *i*	0,24 *i*
— antérieure du cristallin	0,06 *d*	1,09 *d*	0,70 *d*
— postérieure du cristallin.	0,11 *i*	0,95 *i*	1,81 *i*
Système complet	1,40 *d*	1,05 *i*	1,62 *i*

Quoiqu'on ne puisse évidemment pas tirer de conclusions générales des mensurations de trois yeux, je désire pourtant attirer l'attention sur quelques-uns de ces résultats. On remarque d'abord que le méridien vertical de la surface postérieure de la cornée présente une courbure plus prononcée que le méridien horizontal. Le fait se répète dans les trois yeux que j'ai cités ici, aussi bien pour le premier, dont la surface antérieure présente de l'astigmatisme direct, que pour les deux autres où elle présente de l'astigmatisme inverse. J'ai aussi rencontré la même déformation dans d'autres yeux que j'ai mesurés, si bien qu'il y a lieu de croire que le fait est général C'est une déformation analogue à celle qui, pour la surface antérieure de la cornée, produit de l'astigmatisme direct; mais, comme la surface postérieure agit à la façon d'une lentille concave, cette déformation produit de l'astigmatisme inverse. C'est probablement pour cette raison que les yeux qui n'ont pas d'astigmatisme ophtalmométrique possèdent en général de l'astigmatisme subjectif inverse. L'influence de la surface postérieure de la cornée doit correspondre en partie au terme *k* de la formule de *Javal.*

Quant aux surfaces cristalliniennes, on remarque que la surface antérieure offre dans les trois cas de l'astigmatisme direct, la surface postérieure de l'astigmatisme inverse. Je ne sais pas si c'est un hasard ou si cela indique une règle générale.

2° L'*obliquité du cristallin* doit, d'après ce que nous avons dit sur la réfraction par des lentilles placées obliquement (p. 111), produire de l'astigmatisme inverse, mais très peu, tout au plus une demi-dioptrie, et peut-être moins, si la structure spéciale du cristallin a pour résultat de compenser l'effet de son obliquité, comme certains auteurs *(Hermann)* l'ont pensé.

3° On a parlé d'une *accommodation astigmatique du cristallin*, qui aurait pour effet de corriger la déformation cornéenne et souvent même de la surcorriger. A mon avis, cette accommodation astigmatique n'est pas suffisamment démontrée ; j'en parlerai tout à l'heure.

4° Il ne faut pas oublier l'*influence de la distance du verre correcteur à l'œil*, par suite de laquelle le verre correcteur concave est plus fort, le verre convexe plus faible que le véritable astigmatisme. Cette influence se fait sentir d'autant plus que le verre est plus fort, et, pour calculer cette influence, il faut tenir compte non seulement du verre cylindrique, mais aussi du verre sphérique avec lequel il est combiné *(Ostwalt)*. — Si certains auteurs ont trouvé que l'astigmatisme direct subjectif dépasse souvent celui trouvé avec l'ophtalmomètre (le facteur p de *Javal*), cela tient peut-être à ce qu'ils employaient le plus souvent des cylindres concaves.

5° Parmi les facteurs qui jouent un rôle dans l'astigmatisme supplémentaire, le plus important est probablement la variation de l'*astigmatisme dans les différentes zones de la cornée*. Les zones périphériques présentent souvent une valeur et quelquefois aussi une direction plus ou moins différentes de celles des zones centrales. Cela résulte entre autres des mensurations des parties périphériques de la cornée exécutées par *Sulzer* ; mais c'est surtout depuis que j'ai commencé à travailler avec l'optomètre de Young que j'ai souvent constaté des écarts considérables entre la réfraction des différentes parties de l'espace pupillaire et que j'ai acquis la conviction de l'importance de ces différences. Il existe certainement des yeux régulièrement construits, dans lesquels l'astigmatisme est à peu près le même dans tout l'espace pupillaire, mais la plupart sont plus ou moins irréguliers. L'astigmatisme tout à fait régulier n'est qu'un idéal. — Ceci explique aussi l'hésitation de beaucoup de malades vis-à-vis les différents verres cylindriques. Nous avons tous rencontré des cas où il est à peu près impossible d'obtenir une réponse nette du malade. Tantôt il préfère un cylindre, tantôt un autre un peu différent, et, à chaque nouvel examen, il indique une inclinaison un peu différente. Le plus souvent, si le malade hésite, il a de bonnes raisons pour le faire. — L'examen avec le point lumineux (v. chap. x), qui a été beaucoup négligé, mais que nous avons repris depuis quelque temps au laboratoire de la Sorbonne, montre pourquoi le malade hésite et pourquoi nous n'obtenons souvent pas un résultat très encourageant par la correction.

70. L'accommodation astigmatique. — La question de l'accommodation astigmatique a été beaucoup discutée il y a quelques années. C'est *Dobrowolsky* qui émit le premier l'idée que les astigmates pouvaient

corriger en partie leur défaut en produisant une déformation du cristallin en sens opposé, par une contraction irrégulière du muscle ciliaire. Il admit ainsi un *astigmatisme latent* qu'on pouvait rendre manifeste en instillant de l'atropine, absolument comme cela a lieu pour l'hypermétropie. — Plus tard, l'idée fut adoptée par *Javal* et poussée à ses dernières conséquences par *G. Martin*, par *Vacher* et d'autres, qui allaient jusqu'à chercher dans cette accommodation astigmatique l'origine d'une série de maladies : la blépharite, la kératite, la migraine, et même, dans certains cas, la cataracte. Depuis quelque temps, une réaction s'est fait sentir ; la plupart des auteurs de ces dernières années, comme *Eriksen*, *Sulzer* et surtout *George Bull*, n'admettent pas l'accommodation astigmatique.

Les partisans de l'accommodation astigmatique se fondaient surtout sur le changement de l'astigmatisme qu'on observe en instillant de l'atropine. Le phénomène est, selon toute probabilité, dû à ce que l'astigmatisme des parties périphériques diffère de celui de la partie centrale ; dans des circonstances ordinaires, ces parties se trouvent en dehors de la pupille, mais, par suite de l'atropinisation, celle-ci se dilate, de manière à laisser les parties périphériques entrer en jeu. L'aire de ces parties périphériques est en général plus grande que celle de la partie centrale qui correspond à la pupille dans les circonstances ordinaires. Admettons, par exemple, que le diamètre de la pupille soit porté de 4 à 8 millimètres. L'aire d'un cercle s'exprimant par $r^2\pi$, celle de la pupille ordinaire est d'environ 12 millimètres carrés et celle de la pupille dilatée de 50 millimètres carrés. La pupille a par conséquent augmenté de 38 millimètres carrés, soit environ du triple de sa grandeur. Il pénètre ainsi bien plus de lumière par ces parties périphériques ; aussi, n'est-il pas étonnant que ce fait influe beaucoup sur les réponses du malade. Toutes les observations de changement d'astigmatisme à la suite d'une instillation d'atropine ne prouvent donc rien en faveur de l'accommodation astigmatique. On a proposé d'étudier la question en appliquant devant l'œil un diaphragme de la grandeur de la pupille non dilatée, mais je ne vois pas comment on pourrait s'assurer si la position du diaphragme correspond réellement à celle de la pupille non dilatée. — Les seules observations en faveur de l'accommodation astigmatique qui pourraient prétendre à quelque valeur, sont celles où l'observateur, muni d'un cylindre faible, commence par voir nettement une ligne de la figure étoilée et finit par les voir toutes avec la même netteté. Mais les observations de cette sorte qui ont été publiées ne sont nullement à l'abri de toute critique. Si quelqu'un voulait reprendre cette expérience, il vaudrait mieux se servir d'un point lumineux : après

avoir mis un cylindre faible devant l'œil, il faudrait observer les différentes formes sous lesquelles on voit le point lumineux à différentes distances (voir le chapitre suivant) et répéter cet examen après avoir porté le cylindre pendant une heure ou deux, pour voir si les figures ont subi un changement quelconque.

La prétendue accommodation astigmatique était toujours d'un degré très faible, 1 D. à 1,5 D. au maximum. Souvent il fallait, pour la dévoiler, une atropinisation très énergique, durant jusqu'à quinze jours et allant jusqu'à un commencement d'empoisonnement. Je pense que, souvent, de guerre lasse, le malade a fini par répondre tout ce qu'on voulait.

71. Astigmatisme postopératoire. — Si l'on examine la cornée une huitaine de jours après l'extraction d'une cataracte, on trouve un astigmatisme inverse énorme, allant quelquefois à 12 ou 14 D. Le méridien vertical est aplati, probablement à la suite de l'interposition d'un exsudat entre les lèvres de la plaie ; le phénomène est encore plus prononcé s'il existe une hernie de l'iris. Cet astigmatisme diminue peu à peu ; il peut disparaître complètement, mais le plus souvent il en reste définitivement une ou deux dioptries. Pour cette raison, il est prudent de remettre le choix de lunettes à deux ou trois mois après l'extraction, ou, si le malade désire les avoir de suite, de le prévenir qu'il faudra les changer après deux mois. Contrairement à ce qu'on pourrait croire, l'accord entre l'astigmatisme subjectif et la mesure ophtalmométrique est moindre que pour l'œil normal, ce qui tient, d'une part à la distance du verre correcteur à l'œil (v. p. 120); d'autre part, à ce que la cornée garde très souvent un certain degré d'irrégularité après l'extraction. Ce que nous avons dit de l'extraction de la cataracte s'applique aussi, mais à un degré bien plus faible, à l'iridectomie et aux autres opérations exécutées sur la cornée.

72. Kératocône. — Abstraction faite des cas postopératoires, on rencontre les degrés les plus forts d'astigmatisme cornéen dans les cas de kératocône [1]. Le sommet du cône ne coïncide pas en général avec la ligne visuelle, ce qui donne lieu à un fort astigmatisme dont la direction diffère suivant la direction du sommet du cône. On remarque en même temps que les images des mires sont très irrégulières. En enlevant le prisme et en mettant le disque kératoscopique à sa place, on arrive facilement à trouver la direction du regard qui amène le sommet du cône

---

(1) L'expression de kératocône n'est pas très heureuse ; la forme de la cornée se rapproche dans ces cas de celle d'un hyperboloïde ; on sait, en effet, que ce corps ressemble beaucoup à un cône dont le sommet serait arrondi.

dans l'axe de l'ophtalmomètre ; on voit alors l'image du disque kératoscopique toute petite et souvent régulière, ronde ou ovale ; dans tout autre position sa forme est ovoïde (fig. 84). — Les cas que *Javal* a décrits d'abord sous le nom d'*yeux décentrés*, parce qu'il croyait que leur déformation dépendait d'une grandeur insolite de l'angle α, étaient affectés d'un

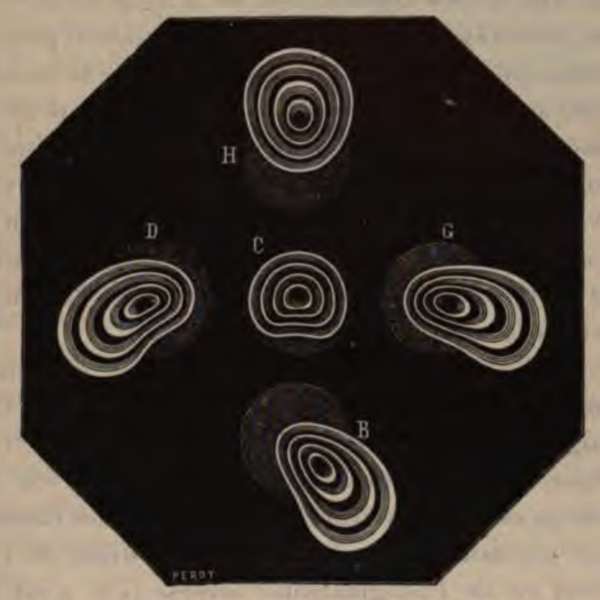


Fig. 84. — Images kératoscopiques d'un cas de kératocône.

léger degré de kératocône, ainsi qu'il l'a reconnu depuis. En dehors des cas de kératocône, on rencontre assez souvent des cas où les images des mires ou du disque kératoscopique présentent des irrégularités plus ou moins prononcées, par exemple à la suite d'anciennes affections de la cornée. Souvent, on arrive pourtant à faire une mesure ophtalmométrique qui peut donner une indication utile pour le choix d'un cylindre.

73. Symptômes de l'astigmatisme. — Le symptôme le plus important de l'astigmatisme est la diminufion de l'acuité visuelle, qui est une conséquence du défaut de netteté de l'image. En général, les images sont un peu déformées, mais les astigmates sont habitués à cette déformation et ne s'en rendent pas compte.

Asthénopie des astigmates. — A cause de leur acuité diminuée, les astigmates sont obligés de se rapprocher des objets, dans le but d'obtenir des images rétiniennes plus grandes. Ils sont donc obligés d'accommoder plus que d'autres personnes, ce qui est déjà une cause d'asthénopie. Mais, il y en a encore d'autres raisons.

On peut se demander comment voient les astigmates, c'est-à-dire quelle est la partie de la distance interfocale qu'ils amènent de préférence sur la rétine. A la suite de *Sturm* on a cru que, dans les cas où ils ont le choix, ils aimaient mieux se servir du cercle de diffusion, de manière à voir tous les contours avec le même degré de confusion. D'après des recherches ultérieures (*Javal*), c'est de la ligne focale verticale qu'ils se servent de préférence. Il y a plusieurs raisons pour cette préférence : c'est ainsi qu'il est bien plus important pour la lecture de voir les lignes verticales nettement; la lisibilité des lettres dépend surtout de la netteté avec laquelle sont vues les lignes verticales. Une autre raison est l'importance qu'ont les contours verticaux pour la vision binoculaire. Si l'on ne voit que des lignes horizontales, rien n'indique pour quelle distance les yeux doivent converger. A défaut de pouvoir employer la ligne focale verticale, les astigmates ont recours à la ligne horizontale, mais très rarement à la partie intermédiaire.

Dans les cas d'astigmatisme *direct*, le degré d'accommodation à employer dépend donc du méridien le moins réfringent. Une personne ayant de l'astigmatisme hypermétropique composé, de l'astigmatisme hypermétropique simple ou de l'astigmatisme mixte, est donc dans la même situation qu'un hypermétrope ; elle a les mêmes raisons pour avoir de l'asthénopie accommodative. Les personnes ayant de l'astigmatisme myopique direct ou de l'astigmatisme inverse (s'il n'est pas combiné avec de l'hypermétropie) ont moins de raisons pour souffrir de l'asthénopie et semblent en effet en souffrir moins. C'est surtout *George Bull* qui a insisté sur cette explication de l'asthénopie des astigmates.

74. Examen des astigmates. — Lorsqu'en examinant le malade avec des verres sphériques, on n'arrive pas à une acuité satisfaisante, on soupçonne de l'astigmatisme, à moins que les explications du malade ne donnent lieu de présumer une maladie intérieure de l'œil. On soumet alors le sujet à l'examen ophtalmométrique qui, d'après les règles que nous avons posées, donne une idée approximative de la direction et du degré de l'astigmatisme subjectif. Si l'on trouve un degré très faible à l'ophtalmomètre, on peut, le plus souvent, admettre que ce n'est pas à l'astigmatisme qu'il faut attribuer les plaintes du malade. On passe ensuite à l'examen subjectif ; on rend le sujet myope de deux ou trois dioptries et on rapproche la figure étoilée jusqu'à ce qu'il voie une des lignes nettement. *Dans ces circonstances, le malade voit nettement la ligne qui correspond au méridien le plus réfringent.* La direction de cette ligne indique donc la direction de l'axe d'un cylindre convexe : un cylindre concave doit être placé perpendiculairement à cette direction. Il est rare

de trouver une différence notable entre la direction indiquée par l'ophtalmomètre et celle ainsi annoncée, si ce n'est dans le cas d'un astigmatisme ophtalmométrique très faible, qui peut n'avoir aucune analogie de position et de valeur avec l'astigmatisme total. On peut alors passer à la recherche du cylindre qui égalise toutes les lignes, mais le plus simple est de chercher directement le cylindre qui donne la meilleure acuité visuelle : on place devant l'œil le verre qui corrige l'amétropie sphérique, en y joignant le cylindre indiqué par l'ophtalmomètre, dans la position trouvée au moyen de la figure étoilée. Après avoir constaté combien on améliore ainsi l'acuité visuelle, on essaie si l'on obtient une amélioration ultérieure en faisant tourner légèrement le verre dans les deux sens et en ajoutant + 1 et — 1 cylindrique, en ayant bien soin de placer l'axe du verre parallèlement à celui qui se trouve dans la monture. Suivant que l'acuité gagne en ajoutant une dioptrie cylindrique convexe ou concave, on remplace le verre de la monture par le numéro suivant et on recommence l'examen. Avec des malades qui sont de bons observateurs ou lorsque l'astigmatisme est faible, on peut quelquefois arriver à une exactitude plus grande, cas dans lesquels les demi-dioptries trouvent leur emploi. Lorsqu'on a trouvé le cylindre le plus faible qui donne la meilleure acuité visuelle, on vérifie le verre sphérique en ajoutant + 1 sphérique qui doit diminuer l'acuité visuelle et — 1 sphérique qui ne doit pas l'augmenter.

Après avoir fait l'examen subjectif, on examine le malade à l'ophtalmoscope. Je mentionnerai plus loin les signes ophtalmoscopiques de l'astigmatisme, sur lesquels on a beaucoup insisté à une époque où l'on n'avait pas d'autres signes objectifs de cette anomalie ; ils sont aujourd'hui presque devenus de simples curiosités, surtout depuis que la skiascopie a pris une importance justifiée. Quand on s'en sert comme vérification, on met le verre correcteur dans une monture et on examine à la skiascopie si la correction est complète. On peut aussi l'employer pour chercher la direction des axes et la valeur de l'astigmatisme, si l'on ne possède pas d'ophtalmomètre.

Il y a surtout deux points sur lesquels je voudrais insister. C'est d'abord l'importance de l'examen subjectif, qui doit toujours avoir le dernier mot ; ce n'est que dans les cas où il est impossible d'obtenir des renseignements du malade, qu'on peut essayer de donner des verres correcteurs, d'après les données fournies par les méthodes objectives. La raison en est que, dans la plupart des cas, la correction de l'œil par un cylindre n'est pas un problème optique simple. L'astigmatisme n'est, le plus souvent, pas le même dans tout l'espace pupillaire ; celui des zones extérieures diffère plus ou moins de celui des zones centrales ; le meilleur verre-

correcteur n'est qu'une sorte de moyenne, que ni l'ophtalmomètre, ni la skiascopie ne peuvent prétendre indiquer exactement. Il est bien entendu que ces différences ne sont habituellement pas grandes, surtout dans les cas qui se prêtent bien à la correction; mais elles suffisent pourtant pour rendre l'examen subjectif indispensable.

L'autre point sur lequel je voudrais insister, c'est qu'il ne faudrait pas abuser de la prescription des cylindres. Depuis l'invention de l'ophtalmomètre, il y a une tendance trop marquée à prescrire des cylindres aussitôt qu'on a fait le diagnostic de l'astigmatisme. Il ne faudrait pas, à mon avis, prescrire de verres cylindriques sans qu'ils produisent une amélioration palpable de l'acuité visuelle ; le port de verres est toujours une gêne pour le malade, et celui de verres cylindriques l'est encore plus, tant à cause des difficultés pour les porter en pince-nez qu'à cause des erreurs dans la direction de l'axe, que commettent quelquefois les opticiens, de la difficulté de remplacer un verre cassé, etc.

S'il y a plusieurs cylindres qui donnent la même acuité, il est préférable de choisir le plus faible. S'il n'y a de l'astigmatisme que d'un seul œil, on peut laisser au malade le choix de le corriger ou non; en général, il n'y gagne pas beaucoup, excepté dans les cas où il y a tendance au strabisme.

Si l'on combine deux cylindres de même force, en plaçant les axes parallèlement, ils agissent comme un cylindre deux fois plus fort; si on place les axes perpendiculairement l'un sur l'autre, ils agissent comme un verre sphérique, et si les axes forment un angle aigu entre eux, l'effet est le même que celui d'une combinaison sphéro-cylindrique dont les forces sphérique et cylindrique varient avec l'angle. Comme on ne peut pas obtenir d'autre effet avec deux cylindres qu'avec un cylindre combiné avec un verre sphérique, les verres bicylindriques sont maintenant abandonnés.

La lentille cylindrique variable de *Stokes* était composée d'un cylindre qui restait fixe et d'un autre qu'on pouvait tourner : on obtenait ainsi un effet cylindrique variable, mais l'instrument avait cet inconvénient que la direction de l'axe variait aussi. *Javal* y a remédié en faisant tourner les deux cylindres en sens opposé ; mais, malgré ce perfectionnement, la lentille de *Stokes* n'a jamais été d'une utilité pratique, à cause de l'effet sphérique qui varie en même temps que l'effet cylindrique.

On peut toujours obtenir l'effet d'une combinaison sphéro-cylindrique donnée avec le cylindre de signe contraire, en changeant le verre sphérique. + 5 sphérique combiné avec + 3 cylindrique équivaut ainsi à + 8 sphérique avec − 3 cylindrique. En réalité, on n'a donc besoin que d'une espèce de cylindres ; aussi, y a-t-il maintenant tendance à ne pres-

crire que des cylindres concaves que l'on combine avec des sphériques convexes, pour obtenir l'effet de cylindres convexes. En plaçant le cylindre du côté de l'œil, on obtient ainsi un léger effet périscopique.

Les verres périscopiques, qui ont été inventés par *Wollaston*, sont des ménisques convexes-concaves dont le côté concave est du côté de l'œil. Leur avantage consiste en ce que les parties périphériques du champ visuel paraissent plus nettes parce que les rayons traversent les verres moins obliquement que dans le cas ordinaire. Cet avantage existe aussi bien quand l'œil est immobile que pour les directions périphériques du regard. Depuis quelque temps, on a essayé de remplacer les verres cylindriques par des verres *toriques*, dont l'une des surfaces est taillée suivant un *tore*, l'autre suivant une surface sphérique. Ils ont l'avantage d'être périscopiques, mais leur fabrication est difficile et jusqu'à présent ils ne sont pas très répandus.

Les cas de correction exacte de l'astigmatisme comptent parmi les plus agréables que l'oculiste puisse rencontrer, et il arrive assez souvent qu'on obtient une acuité normale ou même supérieure à la normale. Souvent, l'acuité reste au-dessous de la normale, et il y a un certain nombre de cas où l'effet des verres est nul ou à peu près. Les oculistes ne sont pas d'accord sur le nombre de cas où l'on obtient un bon résultat. *Schweigger* dit que, dans une minorité considérable des cas d'astigmatisme, la correction obtenue par les cylindres est assez satisfaisante. D'autres auteurs sont moins pessimistes.

Bibliographie. — *Œuvres de* Young, éd. Tscherning, p. 125. — Airy. *Transactions of the Cambridge Phil. Soc.*, 1827, t. II et 1849, t. VIII. — Sturm. *Sur la théorie de la vision*. Comptes rendus, 1845. — Goulier. *Sur un défaut assez commun de conformation des yeux et sur les moyens de rendre la vue distincte aux personnes qui en sont atteintes*. Comptes rendus. 1865. — Knapp (H.). *Ueber die Assymetrie des Auges in seinen verschiedenen Meridiansystemen. Arch. f. Ophth.*, VIII, 2, p. 185. — Donders (F.-C.). *Astigmatismus und cylindrische Glaeser*. Berlin, 1862. — Javal (E.) dans de Wecker. *Traité des maladies des yeux*, II, Paris, 1863. — Javal (E.). *Sur le choix des verres cylindriques*, Ann. d'oc. 1863. — Javal (E.). *Mémoires d'ophtalmométrie*. Paris, 1891. — Schiœtz (H.). *Ophtalmometrische und optometrische Untersuchung von 969 Augen. Arch. f. Augenh.* 1885. — Nordenson (E.). *Recherches ophtalmométriques sur l'astigmatisme de la cornée*. Ann. d'oc. 1883. — Bull (G.). *L'asthénopie des astigmates*. Bull. de la Soc. franç. d'ophtal., 1892, p. 128.

CHAPITRE X

ASTIGMATISME IRRÉGULIER

75. Remarques générales. — Lorsqu'on n'arrive pas à obtenir une acuité visuelle normale au moyen de verres sphériques et cylindriques, on attribue en général la cause de cet insuccès à la rétine, on pose le diagnostic d'amblyopie. — Quelquefois, mais en général assez rarement, on attribue la diminution de l'acuité visuelle à un astigmatisme irrégulier, surtout s'il est visible par les déformations des images ophtalmoscopique ou kératoscopique. Mais il est probable que, plus on étudiera l'optique de l'œil, plus le diagnostic d'amblyopie cédera la place à celui d'astigmatisme irrégulier, qui servait jusqu'ici de désignation commune à tous les défauts optiques de l'œil autres que la myopie, l'hypermétropie et l'astigmatisme régulier, c'est-à-dire ceux que nous pouvons corriger avec les verres de nos boîtes. Depuis longtemps, la plupart des travaux parus sur l'optique de l'œil ont eu pour but d'améliorer les procédés employés pour déterminer ces défauts aussi vite et aussi exactement que possible. Il est peu probable qu'on puisse, pour le moment, faire des progrès de quelque importance dans cette direction ; ces méthodes sont, à l'heure qu'il est, très développées ; il me semble même qu'on est en train de dépasser le but, en ce sens qu'on peut s'apercevoir d'une tendance à vouloir déterminer ces défauts trop exactement. Les quarts de dioptrie de nos boîtes sont en effet superflus, et même les demi-dioptries ne sont que rarement indispensables, excepté pour les amétropies très faibles. Tant qu'on admettait que la réfraction était la même dans tout l'espace pupillaire, on pouvait se figurer la possibilité de déterminer cette réfraction avec une grande exactitude. Mais, depuis que nous savons qu'il y a dans presque tous les yeux des différences optiques entre les différentes parties de l'espace pupillaire, et que ces différences peuvent atteindre plusieurs dioptries, il faut se figurer le verre correcteur comme une sorte de moyenne qu'on ne peut pas déterminer avec une

exactitude parfaite. Il semble que la construction de l'œil est telle, que l'acuité visuelle est environ de 2 pour un système optique parfait ; mais beaucoup d'yeux ont des irrégularités optiques qui abaissent l'acuité à 1, à cinq sixièmes, à trois quarts ou encore au-dessous, et ces irrégularités sont souvent encore plus prononcées dans les yeux astigmates, ce qui empêche la correction complète.

L'étude de ces irrégularités semble donc destinée à jouer un certain rôle dans les futurs travaux sur l'optique de l'œil. Comme je l'ai déjà fait remarquer, on peut les étudier avec le disque kératoscopique de l'ophtalmomètre de *Javal et Schioetz*, et on peut les mesurer avec l'optomètre de *Young*, lequel exige pourtant de l'observateur une certaine somme de travail pour s'habituer à l'instrument. Mais, le meilleur moyen de se rendre compte de ces irrégularités est le suivant.

76. Examen de l'œil avec un point lumineux. — Nous avons déjà vu que les premiers auteurs qui se sont occupés de la question de l'astigmatisme régulier se servaient du point lumineux pour trouver les méridiens et pour juger de l'exactitude de la correction. Plus tard, le point lumineux fut remplacé par la figure étoilée, qui est d'un emploi plus commode pour la recherche des méridiens, mais qui ne donne des renseignements que sur l'astigmatisme corrigible par un verre cylindrique. Les formes sous lesquelles est vu un point lumineux fournissent au contraire des renseignements plus amples : il n'y a pas un défaut optique de l'œil qui ne se dessine dans ces figures, quelquefois, il est vrai, sous une forme qui peut être difficile à interpréter. C'est pourquoi nous avons repris cet examen au laboratoire de la Sorbonne. Comme objet nous nous servons d'un trou très petit ($0,2^{mm}$ à $0,3^{mm}$), fait dans un écran noir, et sur lequel on concentre la lumière d'une lampe ou celle du ciel. Le sujet rendu myope se rapproche graduellement du point lumineux, tout en observant la forme sous laquelle celui-ci apparaît. On peut aussi placer le malade à une distance fixe, à 1 mètre par exemple, et changer la distance virtuelle du point lumineux en plaçant des verres, concaves et convexes, devant l'œil ; il faut que le malade évite autant que possible d'accommoder. On peut examiner ainsi la forme du faisceau réfracté dans toute son étendue ; car, pour la question qui nous intéresse, il revient au même que le point lumineux soit fixe pendant que la rétine se déplace, ou que, la rétine étant fixée, on déplace le point lumineux. La plupart du temps, le malade voit des cercles de diffusion présentant assez exactement la forme de la pupille, qui diminuent à mesure que le point lumineux se rapproche du foyer. Mais près de celui-ci, en avant et en arrière, il y a une partie, la *partie caractéristique du faisceau*, où le cercle prend des

formes irrégulières. Les taches de diffusion rondes se ressemblent chez toutes les personnes ; tout au plus trouve-t-on quelques petites différences dues à la forme de la pupille, à une répartition différente de l'éclat des cercles ou aux phénomènes entoptiques que je décrirai dans le chapitre suivant. Mais, la partie caractéristique du faisceau diffère tellement chez les différents sujets, que je n'ai jamais rencontré deux yeux où elle fût pareille, excepté peut-être dans les deux yeux de la même personne.

77. Différentes formes d'astigmatisme irrégulier. — On peut distinguer plusieurs groupes.

1° Dans un œil idéal, la *partie caractéristique* du faisceau se réduit à un point. On rencontre quelquefois des yeux qui ne s'écartent pas beaucoup de ce type, mais ils sont rares et ont tous une acuité exceptionnelle (fig. 85). Il est du reste clair que, toutes choses égales, un œil est d'autant meilleur que la *partie caractéristique* du faisceau est plus courte.

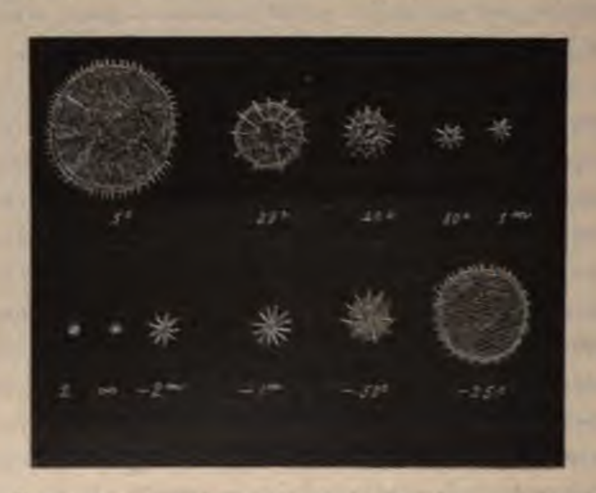


Fig. 85. — Formes sous lesquelles est vu un point lumineux par un œil régulier. D'après *Rée*.

2° Les yeux régulièrement astigmates devraient voir des figures pareilles à celles de la figure 77, mais il n'existe guère d'yeux aussi réguliers. Dans les degrés faibles d'astigmatisme, on n'a presque jamais

(1) Les figures 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92 sont empruntées à un travail que M. Rée a fait au laboratoire de la Sorbonne (*Undersoegelse af øiet med et lysende Punct*, Copenhague, 1896) et qui forme comme un petit atlas représentant les formes sous lesquelles l'œil voit un point lumineux. Mais la question est loin d'être épuisée, et il serait désirable que quelqu'un la reprît dans une clinique. A quelques exceptions près, les yeux des sujets examinés par *M. Rée* étaient ce qu'on désigne comme des yeux normaux ; mais ce serait surtout des astigmates, dont la vision ne s'améliore pas beaucoup avec des cylindres, qu'il faudrait examiner.

des lignes focales nettes, et dans les degrés forts, où les lignes focales sont plus pures, les irrégularités apparaissent lorsqu'on corrige l'astig-



Fig. 86. — Astigmatisme régulier avec aberration de sphéricité. D'après *Rée*.

matisme approximativement avec un cylindre. Les astigmates les plus réguliers voient souvent des formes analogues à celles de la figure 86.



Fig. 87. — Figures d'un point lumineux obtenues en combinant une forte lentille sphérique ordinaire avec une lentille cylindrique (Astigmatisme avec aberration de sphéricité). D'après *Rée*.

Les lignes focales sont plus épaisses au milieu et la tache de diffusion interfocale n'est pas circulaire, mais a la forme d'un losange. Ces formes sont dues à la combinaison d'un astigmatisme régulier avec une aberra-

tion de sphéricité assez prononcée, car on peut obtenir des formes tout à fait analogues avec une combinaison de + 20 sph. avec + 6 cyl. de nos boîtes (fig. 87). C'est pour cette raison qu'on est obligé de se servir d'une



Fig. 88. — A, formes que présente un point lumineux à mon œil droit (Obliquité dans un méridien, le vertical). — B, aspect des mêmes figures si je couvre la moitié inférieure de la pupille. — C, aspect des figures si je couvre la moitié supérieure de la pupille.

Les figures *a* correspondent à une distance de 60 centimètres ; les figures *b* à 1 mètre ; les figures *c* à $1^m,50$ et les figures *d* à l'infini.

lentille aplanétique pour obtenir les figures d'astigmatisme pur. Dans les yeux plus irréguliers, on peut en général trouver des figures qui représentent plus ou moins bien des lignes focales, c'est-à-dire qu'il y a



Fig. 89. — Œil à double obliquité. D'après *Bee*.

deux endroits où les figures sont plus ou moins allongées, de sorte que leurs deux grands axes soint perpendiculaires l'un sur l'autre ; mais ces figures sont loin d'être linéaires.

3° Il n'est pas rare que le système optique de l'œil affecte une certaine



Fig. 90. — Figures de l'œil gauche de M. *Ree* (Obliquité dans un méridien, le vertical). Ligne focale courbe.



Fig. 91. — Ligne focale courbe. D'après *Rée*.

obliquité, de sorte que les figures sont symétriques par rapport à un seul axe (et non par rapport à deux axes, comme dans l'astigmatisme

régulier). C'est le cas de mon œil droit (fig. 88) et aussi de celui de M. *Rée* (fig. 90). Ces figures sont jusqu'à un certain point analogues à celles qu'on obtient avec une lentille placée obliquement.

4° Souvent on constate une obliquité dans les deux sens perpendiculaires l'un à l'autre, de sorte que les figures ne sont pas symétriques du tout (fig. 89).

5° Une anomalie qui n'est pas tout à fait rare consiste en une certaine courbure des lignes focales, probablement due à ce que les méridiens principaux de la cornée montrent une courbure analogue (fig. 90, 91).

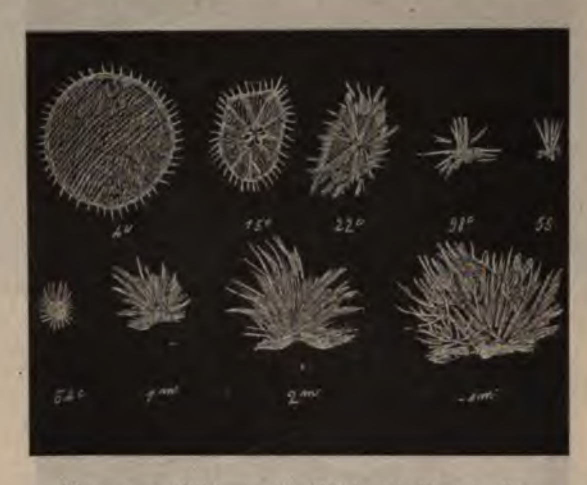


Fig. 92. — Œil irrégulier (Diplopie). D'après *Rée*.

6° On rencontre assez souvent des figures plus irrégulières, ainsi celles de la figure 91 appartenant à un œil qui possédait une diplopie assez prononcée.

78. Règles pour analyser les figures du point lumineux. — Les figures sont quelquefois assez difficiles à analyser. Voici quelques indications pour cette analyse.

1° On peut toujours décider si une partie d'une figure est formée par des rayons croisés ou non, en couvrant une partie de la pupille. Si c'est la partie homonyme de la figure qui disparaît, cette partie est formée par des rayons qui ont déjà croisé l'axe avant d'arriver à la rétine; si c'est la partie hétéronyme qui disparaît, les rayons n'ont pas encore croisé l'axe. — Quelquefois, on peut avec avantage employer le verre de cobalt (v. p. 103) pour cette analyse.

2° Si le point lumineux se trouve au delà du *remotum* et que l'observateur remarque un éclat concentré sur une partie de la tache de diffusion, cette partie correspond à une partie moins réfringente que le reste

de la pupille ; car le foyer de cette partie se trouve plus près de la rétine et ses rayons sont par conséquent moins dispersés.

3° Si, en deçà du foyer, les figures sont allongées dans un sens, en bas par exemple, elles sont, au delà du foyer, allongées dans le même sens, et l'œil est plus réfringent dans cette direction. C'est ainsi que, dans la figure 95 A, où la partie inférieure de la surface est supposée plus réfringente, la partie du cône située au-dessus de l'axe est partout plus large. Aussi les taches de diffusion sont-elles vues allongées en bas (fig. 88).

4° Les phénomènes aberroscopiques (p. 96) nous indiquent toujours dans quelle direction la réfraction augmente ou diminue à partir du centre de la pupille.

L'optomètre de Young permet enfin une analyse plus précise de ces irrégularités.

Prenons, par exemple, mon œil droit (fig. 88), et voyons comment on peut employer ces règles pour analyser les figures. On remarque que la partie supérieure de la figure *d*, A, vue à l'infini, possède un éclat plus fort que la partie inférieure. En couvrant la moitié supérieure de la pupille, cette partie disparaît, tandis qu'en couvrant la moitié inférieure de la pupille, cette partie ne change pas. Nous en concluons, suivant la règle 1°, que toute la figure est formée par des rayons ayant croisé l'axe, c'est-à-dire que tout l'espace pupillaire est myope, et, suivant la règle 2°, que la partie supérieure est bien moins myope que le reste. — Si je me rapproche à $1^m,50$ du point lumineux, je vois la figure *c* qui ressemble à un T lumineux inscrit dans un demi-cercle moins lumineux. Si je couvre la moitié supérieure de la pupille, la barre verticale disparaît et la barre horizontale devient plus faible. Nous en concluons, suivant la règle 1°, que la barre verticale est formée par des rayons qui n'ont pas encore croisé l'axe. Le point situé à $1^m,50$ est donc déjà situé en deçà du *remotum* de cette partie, tandis qu'il est situé au delà du remotum de la partie inférieure. Toutes les figures sont allongées vers le bas, ce qui montre aussi (suivant 3°) que la pupille est plus réfringente en bas. Les lignes de l'aberroscope sont convexes vers le milieu, en bas et vers les deux côtés, tandis qu'elles sont droites ou légèrement concaves vers le milieu en haut (fig. 93), ce qui montre que la réfraction diminue vers la périphérie en haut et augmente dans les trois autres directions. — Enfin, on trouve, en mesurant avec l'optomètre de Young, la réfraction indiquée par le schéma (fig. 94, A). Les mesures confirment les autres observations, si ce n'est qu'elles décèlent un très léger degré d'hypermétropie près du

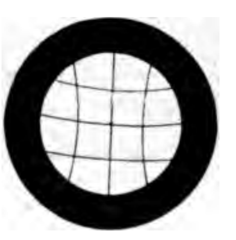


Fig. 93. — Phénomènes aberroscopiques de mon œil droit.

bord supérieur de la pupille, laquelle avait échappé à l'analyse des

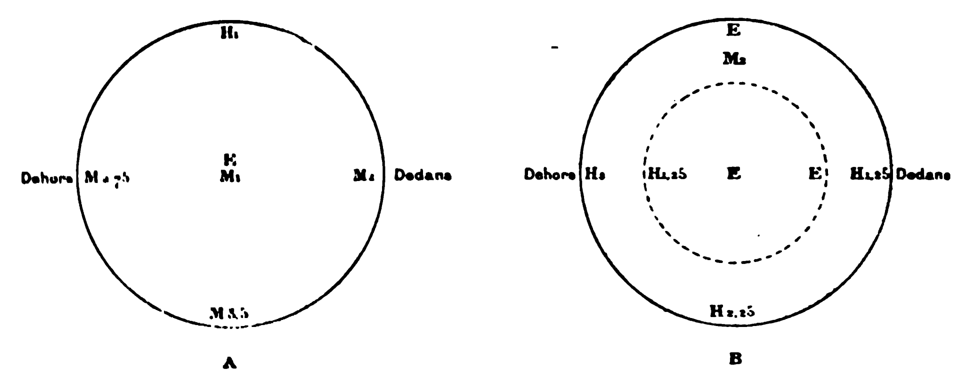
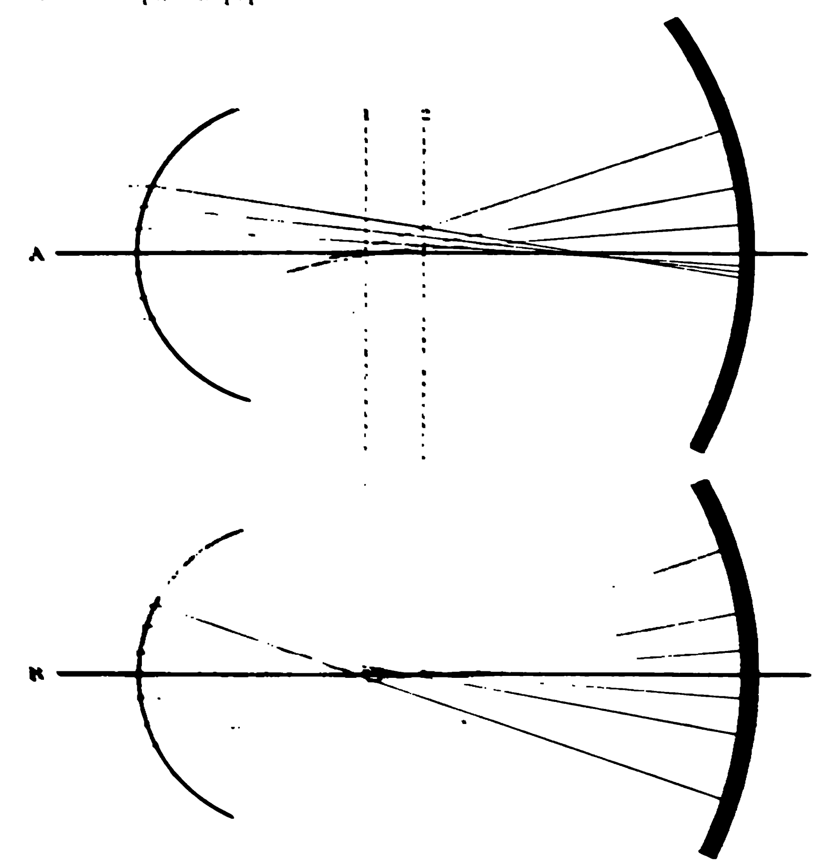


Fig. 94. — A, schéma des variations de réfraction dans la pupille (dilatée) de mon œil droit. — B, schéma de la réfraction dans la pupille de Demicheri : le cercle pointillé indique la pupille normale, le cercle plein la pupille dilatée.



[illegible]

[illegible] à peu près
[illegible] méridien

vertical, B au méridien horizontal ; l'endroit marqué 2 correspond à la figure 88, *c*.

Quant aux moyens à employer pour corriger ces défauts, ils restent encore à découvrir. La seule indication qu'on puisse donner pour le moment est que les formes mentionnées sous 3° pourront probablement quelquefois se corriger plus ou moins bien avec des verres placés obliquement. — Les *verres de contact* pourraient évidemment corriger la plus grande partie de ces défauts, qui résident surtout dans la cornée. Comme la cornée ne supporte guère le contact, *Sulzer* a fait tailler de semblables verres, qui sont munis d'un pourtour par lequel ils s'appuient sur la sclérotique. Sous cette forme, les verres de contact sont mieux tolérés, mais ils semblent néanmoins causer une certaine gène, qui empêchera probablement leur emploi, excepté dans des cas spéciaux.

Bibliographie. — Tscherning (M.). *Die monochromatische Abweichungen. Zeitschrift f. Psych. u. Physiol. der Sinnesorg.*, IV, p. 456. — Rée (O. M.). *Undersoegelse af Oeiet. med et lysende Punkt.* (Danois). Copenhague, 1896.

CHAPITRE XI

PHÉNOMÈNES ENTOPTIQUES

79. Manière d'observer les phénomènes entoptiques. — Lorsqu'on s'approche d'un point lumineux, le cercle de diffusion auquel il donne naissance augmente de grandeur. Au moment où le point lumineux est au foyer antérieur de l'œil, les rayons sont parallèles après la réfraction, et le cercle de diffusion a la grandeur de la pupille; en se rapprochant davantage, le cercle grandit encore.

Dans ces circonstances, on observe les *phénomènes entoptiques*, c'est-à-dire les ombres que les corpuscules situés dans les milieux réfringents de l'œil projettent sur la rétine. Si, au lieu d'un point, on se sert d'une source lumineuse plus grande, le cône d'ombre devient trop court pour pouvoir atteindre la rétine, excepté si l'objet se trouve très près de celle-ci. Une autre manière d'observer les phénomènes entoptiques consiste à se mettre à grande distance et à observer le point lumineux à travers une forte lentille convexe. Dans ce cas, les déplacements des ombres ont lieu dans la direction contraire à celle que nous allons indiquer dans la suite. — Parmi les observations entoptiques, je citerai les suivantes.

1° La tache lumineuse est limitée par l'ombre du bord de l'iris; on peut donc ainsi étudier les irrégularités de celui-ci. La contraction pupillaire s'observe très bien en ouvrant ou couvrant l'autre œil.

2° On voit très souvent des petits cercles dont le centre est brillant, et qui ont un mouvement apparent de haut en bas, dépendant du battement des paupières. Ils sont produits par des petites gouttelettes situées sur la surface antérieure de la cornée et qui se meuvent dans le sens contraire (fig. 96).

3° En clignant des yeux, on produit des stries transversales, dues probablement à des plis de la couche épithéliale. Si l'on cligne pendant quelque temps, par exemple en tenant un œil fermé pendant qu'on travaille au microscope, ou comme les artistes le font souvent pour avoir une meilleure idée de l'impression totale d'un paysage, on peut produire

des stries qui persistent plusieurs heures et donnent lieu à une diplopie très marquée des lignes horizontales (fig. 97). C'est surtout *George Bull* qui a étudié cette question; d'après lui, les phénomènes sont surtout



Fig. 96.
D'après *v. Helmholtz.*



Fig. 97. — Stries produites par le clignement des paupières. (D'après *George Bull.*)

prononcés après une lecture prolongée dans la position horizontale, et donnent lieu à une gêne spéciale qu'il a désignée sous le nom d'asthénopie tarsale.

4° En clignant des paupières, pendant qu'on regarde un point lumineux éloigné, on remarque de longues stries qui montent et descendent du point. Ces stries sont dues à la couche de larmes qui se trouve dans le sac conjonctival et qui, près du bord des paupières, forme comme un prisme à surface concave (fig. 98). Ce prisme fait dévier les

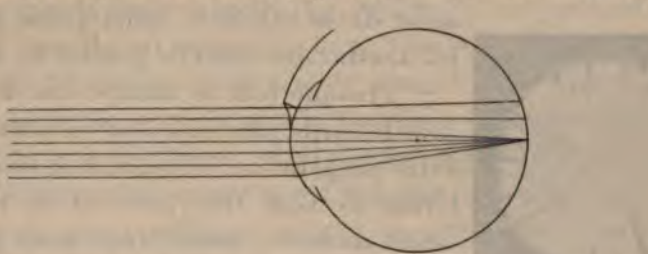


Fig. 98. — Effet prismatique de la couche des larmes.

rayons qui le rencontrent et, comme sa surface est concave, les parties placées près du bord de la paupière agissent comme un prisme plus fort, qui fait dévier davantage les rayons : c'est là la raison pour laquelle on voit une strie et non simplement une deuxième image du point lumineux. La paupière supérieure dévie les rayons vers le haut; elle produit donc la strie que nous voyons dirigée en bas. En effet, si l'on fait descendre un écran près de l'œil, c'est la strie dirigée en bas qui disparaît la première. Ce phénomène n'est pas, à proprement parler,

un phénomène entoptique, mais je le mentionne ici à cause de sa ressemblance avec ceux mentionnés sous le numéro 3.

5° Si l'on frotte l'œil, la tache lumineuse présente un aspect moucheté, dû à des irrégularités de la cornée ; cet aspect disparaît assez vite (fig. 99).

6° On observe quelquefois de petits disques ronds, tantôt brillants, et entourés d'un bord noir, tantôt sombres, avec un bord brillant, provenant du cristallin. On voit souvent aussi la figure étoilée du cristallin tantôt



Fig. 99. — Aspect moucheté du champ entoptique, produit par frottement de la cornée. (D'après *George Bull*.)



Fig. 100. D'après *v. Helmholtz*.

brillante (fig. 100), tantôt sombre, avec des bords un peu plus lumineux. Les opacités cristalliniennes se dessinent dans la tache avec une grande netteté. Un malade intelligent peut ainsi suivre pas à pas le développement de sa cataracte, ainsi qu'on peut le voir sur les dessins que vient de publier M. *Darier* (fig. 101).



Fig. 101. — Cataracte commençante, vue entoptiquement. D'après *Darier*.

7° Presque tout le monde voit des objets situés dans le corps vitré ; ils sont en partie visibles sans autre préparation, en regardant simplement le ciel lorsqu'ils sont très près de la rétine. Ils sont tantôt mobiles, tantôt fixes, mais présentent dans le dernier cas un mouvement apparent. Si, par exemple, l'ombre est vue un peu au-dessus du point de fixation, le malade regarde un peu plus haut pour la fixer; mais, comme l'ombre est toujours vue au-dessus du point de fixation, il continue de diriger la ligne visuelle de plus en plus haut, et l'ombre fuit toujours devant le regard, ce qui a fait donner à ce phénomène la dénomination de *mouches volantes*. Pour s'assurer si le mouvement est apparent ou réel, on peut regarder le ciel à travers une vitre, sur laquelle on choisit un point de repère pour assurer la fixation ; après avoir fait un mouvement rapide

avec le regard, on fixe ce point. Si le corpuscule est fixe, il doit alors rester immobile ; mais, le plus souvent, on le voit descendre lentement, ce qui indique que le corpuscule monte en réalité.

80. Analyse des phénomènes entoptiques.

a). Observation de leur parallaxe (*Listing*). — En fixant différents points du champ entoptique, on remarque que les phénomènes entoptiques se déplacent dans le champ. Si le corpuscule qui donne lieu à l'ombre se trouve derrière le plan pupillaire, l'ombre se meut dans la

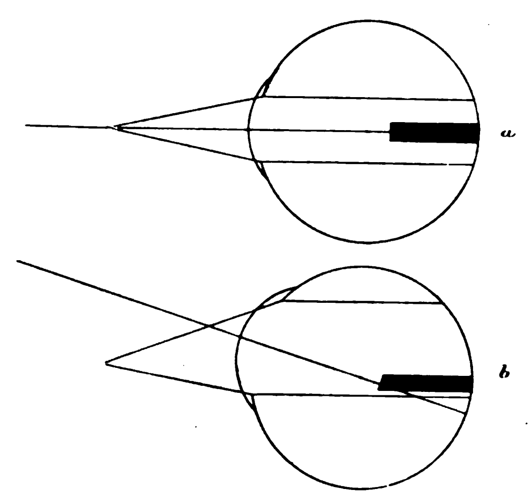


Fig. 102. — Parallaxe des phénomènes entoptiques.

même direction que la ligne visuelle (fig. 102, *a*, *b*) ; en prenant la position *b*, la ligne visuelle est dirigée en haut; l'ombre est descendue près du bord inférieur du champ, mais semble montée (par la projection en dehors). Il est facile de voir qu'on a la parallaxe contraire si l'objet se trouve en avant du plan pupillaire, et qu'elle est nulle si l'objet se trouve dans ce plan. Comme le mouvement est d'autant plus grand que l'objet est plus éloigné du plan pupillaire, on peut de cette manière se faire une idée approximative de la position du corpuscule.

b). Mensuration de la distance du corpuscule a la rétine (*Brewster*, *Donders* et *Doncan*). — Pour *mesurer* cette distance, *Brewster* a proposé d'employer deux points lumineux. On voit alors deux cercles de diffusion qui se couvrent en partie, et chaque corpuscule produit deux ombres. On mesure la distance entre les deux ombres du même objet et le diamètre de la partie libre d'un des cercles DE (fig. 103) ; le rapport entre ces deux mesures est égal au rapport entre la distance de l'objet à la rétine et celle de la pupille à la rétine.

Soient, en effet, A et B (fig. 103) les deux points lumineux qui doivent

se trouver dans le plan focal antérieur de l'œil, *d* le milieu de la pupille, *o* l'objet, *p* et p_1 les ombres et *c* et c_1 les centres des cercles de diffusion.

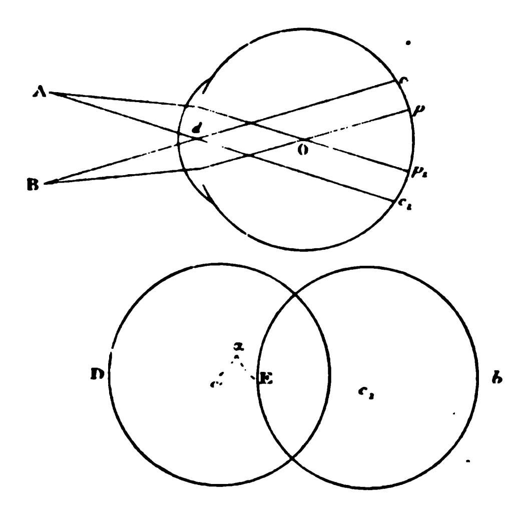


Fig. 103. — Détermination de la position d'un objet entoptique. D'après *Brewster*.

Puisque les points se trouvent dans le plan focal, *dc* est parallèle à *op* et dc_1 à op_1, donc : $\frac{pp^1}{cc_1} = \frac{op}{dc}$, et la figure 103 *b* montre que

$$cc_1 = \text{DE} = \text{R} + \alpha,$$

si R est le rayon du cercle de diffusion. — On peut faire les mensurations en employant comme source lumineuse une feuille de papier blanc fortement éclairé. On regarde à travers deux trous sténopéiques vers cette feuille, et on marque les endroits où l'on projette les ombres, ainsi que les bords des cercles (Donders). *Doncan* faisait les mesures à double vue en comparant les phénomènes entoptiques avec une échelle vue de l'autre œil.

c). Examen de la réfraction de l'objet. — Jusqu'à présent, nous avons traité les phénomènes entoptiques comme des ombres et les objets qui les produisent comme des corps opaques. Le plus souvent, ce n'est pas le cas, ils sont plus ou moins transparents; mais leur réfraction est différente de celle des parties environnantes, soit que leur surface ait une autre courbure, soit que leur indice soit différent.

Il est facile de voir (fig. 104) que les objets plus réfringents doivent concentrer la lumière de façon que l'image entoptique devienne lumineuse et s'entoure d'un bord sombre; c'est le cas des images des gouttelettes

cornéennes. — Au contraire, si l'objet est moins réfringent que les parties environnantes, l'image est sombre, avec un bord plus lumineux. La différence est surtout marquée pour la figure étoilée du cristallin qui, chez quelques-uns, paraît sombre, chez d'autres lumineuse, indiquant ainsi que la réfraction des parties correspondantes est tantôt plus forte, tantôt plus faible que celle des parties environnantes. — Si l'on fait l'expérience en se plaçant à grande distance, en rendant l'œil fortement myope, on doit avoir les phénomènes inverses.

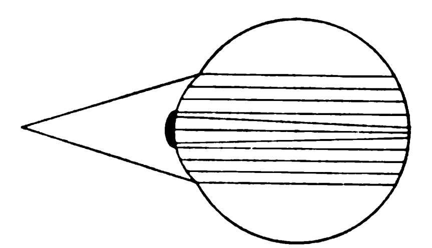


Fig. 104. — La goutte sur la cornée fait converger les rayons qui la traversent, de manière à voir un centre lumineux, entouré d'une ombre.

Dans l'expérience que nous venons de citer (fig. 104), le bord sombre est dû à ce qu'une partie des rayons qui devraient l'éclairer sont amenés à converger vers le milieu de l'image entoptique, par l'interposition du corpuscule. Ce bord est toujours diffus et souvent peu prononcé ; il ne doit pas être confondu avec l'anneau de diffraction qui entoure les images et longe le bord de la pupille lorsque le point lumineux est très petit. Cet anneau, qui quelquefois peut être double ou triple, est toujours très mince et très net.

81. Observation entoptique des vaisseaux de la rétine *(Purkinje).* — *a*). En promenant, dans une chambre obscure, une bougie à quelque distance de l'œil, pendant qu'on regarde droit devant soi, on voit les vaisseaux rétiniens fortement agrandis se projeter sur le fond de la chambre. Ils paraissent sombres (d'un bleu foncé), sur un fond un peu plus lumineux (orangé). — Si l'on rapproche ou éloigne la chandelle de la ligne visuelle, les vaisseaux semblent se déplacer dans la même direction ; si, au contraire, on promène la bougie autour de la ligne visuelle, les vaisseaux semblent se mouvoir dans la direction opposée à celle de la bougie. La *fovea* apparaît sans vaisseaux : dans mon œil, elle offre un certain aspect étoilé ; chez d'autres *(Burow)*, elle paraît comme un disque éclairé, limité par une ombre en croissant.

L'explication de ces phénomènes a été donnée par *Henri Müller*. Par la réfraction il se forme en *a* (fig. 105) une image rétinienne de la bougie ;

la partie ainsi éclairée de la rétine renvoie de la lumière diffuse dans toutes les directions. Le vaisseau *v* intercepte les rayons *av*, de manière à former l'ombre *b* sur la couche sensible de la rétine ; c'est cette ombre qu'on voit (la rétine est représentée trop épaisse sur la figure, en réalité l'ombre se trouve très près du vaisseau). Eclairé directement, le vaisseau forme aussi une ombre sur la partie sensible, située derrière lui ; mais cette ombre n'est pas aperçue habituellement, parce qu'elle se forme toujours au même endroit (et qu'ainsi la couche sensible y est habituée), ou peut-être parce que la partie de la rétine qui se trouve derrière le vaisseau, étant toujours couverte, ne se fatigue jamais et reste par conséquent bien plus sensible, de sorte que le peu de lumière qui traverse le vaisseau, produit une impression aussi forte sur cette partie que la pleine lumière sur le reste de la rétine.

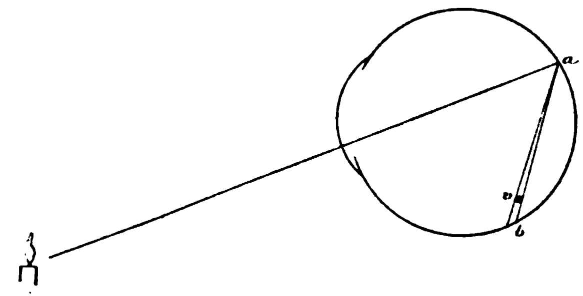


Fig. 105. — Observation entoptique des vaisseaux. D'après *Henri Müller*.

Il semble que les vaisseaux forment dans les circonstances ordinaires des scotomes négatifs, comme la tache de Mariotte, quoiqu'il soit difficile de les observer, excepté près de la papille, à cause de l'instabilité de la fixation (v. chap. XVIII).

b). On concentre avec une lentille convexe la lumière d'une flamme sur la sclérotique, aussi loin que possible du bord de la cornée. En promenant un peu le foyer sur la sclérotique, on voit les vaisseaux sombres sur un fond orangé. Les vaisseaux se meuvent dans le même sens que le foyer lumineux.

L'explication est analogue à celle du cas précédent. La lumière de l'image de la flamme, formée sur la sclérotique, traverse cette membrane et la choroïde, et se disperse dans l'intérieur de l'œil, où elle forme des ombres vasculaires à des endroits insolites. — *Henri Müller* mesura la distance *ab* (fig. 106), séparant deux positions successives du foyer lumineux, et le déplacement $\alpha\beta$ de l'ombre d'un vaisseau correspondant à ce déplacement de la lumière. Avec ces données, il calcula que le vaisseau devrait se trouver de $0^{mm},17$ à $0^{mm},33$ en avant de la couche sensible. Cette expérience semble prouver que c'est la couche

des cônes et des bâtonnets qui est la couche sensible, car la distance des petits vaisseaux voisins de la macula à la couche des cônes est à peu près la même ($0^{mm},2$ à $0^{mm},3$).

c). En regardant le ciel à travers un trou sténopéique, on voit très nettement dessinés le fond granulé et les fins vaisseaux qui entourent la macula ; mais il faut tenir le trou sténopéique en mouvement perpétuel, autrement le phénomène disparaît. Si on regarde le ciel sans trou sténopéique, l'ombre du vaisseau est trop courte pour atteindre la couche sensible. Le même phénomène s'observe souvent en faisant de la microscopie : lorsqu'on éclaire le champ avec la lumière du jour, on voit les vaisseaux en mettant l'œil à l'oculaire et en lui imprimant un mouvement de va-et-vient. Les mouches du corps vitré se voient également très bien de cette façon.

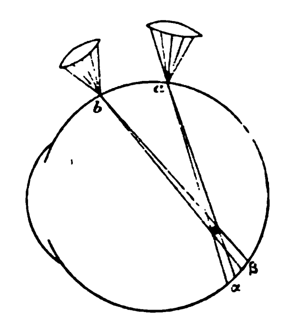


Fig. 106. — Observation entoptique des vaisseaux par éclairage de la sclérotique.

On voit quelquefois, en faisant cette expérience ainsi que la précédente, les vaisseaux devenir lumineux; cela tient à ce que les parties de la couche sensible sur lesquelles l'ombre tombe, dans les circonstances ordinaires, sont maintenant exposées à la lumière, qui agit bien plus fortement sur ces endroits que sur le reste.

82. Autres phénomènes entoptiques. — *a*). En regardant vers le ciel, on voit très souvent des points clairs qui paraissent se mouvoir vivement, pour disparaître ensuite, cédant la place à d'autres *(Purkinje)*. Le phénomène est souvent plus prononcé si l'on regarde à travers un verre de cobalt. On explique ce phénomène par la pression qu'exerce sur la couche sensible un globule de sang qui se trouve arrêté dans un capillaire très étroit.

b). En comprimant l'œil pendant un certain temps, on peut voir les vaisseaux rétiniens et même apercevoir les globules du sang agrandis environ 50 fois. Les vaisseaux rétiniens apparaissent bleuâtres ; mais, avant de les apercevoir, on voit ceux de la membrane choriocapillaire, rouges sur fond noir *(Vierordt, Laiblin)*. Il semble que cette expérience, que *Young* a déjà exécutée, ne réussisse pas à tout le monde.

c). Une pression localisée sur une petite partie de la sclérotique donne lieu à un *phosphène* qui, comme toute autre impression rétinienne, est projeté dans la direction opposée. En faisant l'expérience dans l'obscurité, on remarque que le phosphène a la forme d'un disque faiblement lumineux, entouré d'un bord brillant, correspondant à l'inflexion de la

rétine. Avec ses yeux très saillants, Young arrivait à produire un phosphène correspondant à la macula : les objets extérieurs qui se trouvaient à la place du phosphène étaient encore visibles, mais présentaient des déformations très prononcées. — Si l'on exerce sur l'œil une pression assez forte et uniforme, tout le champ visuel s'obscurcit, par suite de l'anémie de la rétine.

d). En faisant, dans une chambre obscure, des mouvements rapides avec les yeux, on observe deux cercles lumineux correspondant aux lieux d'entrée des nerfs optiques et dus à la traction exercée par ces nerfs pendant le mouvement.

e). En faisant un effort d'accommodation dans une chambre obscure, on voit quelquefois un très grand cercle lumineux, qu'on attribue à la traction que le muscle ciliaire exerce sur les membranes intérieures de l'œil pendant l'accommodation (phosphène d'accommodation de *Czermak*). Je ne réussis pas cette expérience.

f). Un courant électrique faible fait voir, au moment de la fermeture, la papille sombre sur fond bleu, si le courant est montant ; bleu blanchâtre sur fond orangé sombre, si le courant est descendant : en ouvrant le courant, on a les phénomènes inverses. Si le courant est fort, on voit toutes les couleurs du spectre mélangées.

g). En regardant vers le ciel, à travers un prisme de Nicol, on voit les *houppes de Haidinger*, une croix peu distincte dont l'un des bras est jaune, l'autre bleu ; le phénomène tourne avec le nicol. Certaines personnes peuvent voir le phénomène, mais moins prononcé, sans nicol.

Bibliographie. — *Œuvres de Young*, éd. Tscherning, p. 71, 140 et 168. — Purkinje (J.-E.). *Beitraege zur Kentniss des Sehens*, 1819, p. 89, *et neue Beitraege*, 1825, p. 115. — Listing (J.). *Beitrag zur physiologischen Optik. Gœttingen*, 1845. — Doncan (A.). *De corporis vitrei structurâ*. Utrecht, 1854. — Brewster (D.). *Transactions of the Royal Soc. of Edinb.*, XV, 377. — Müller (Heinrich). *Verh. der med. physik. Gesellschaft zu Wurzburg*. IV, V. — Haidinger. *Ueber das directe Erkennen des polarisirten Lichts und der Lage der Polarisationsebene. Poggend. Ann.* 1844. — Darier (A.). *De la possibilité de voir son propre cristallin Ann. d'oc.* t. CXIV, p. 198, 1895.

CHAPITRE XII

L'ACCOMMODATION

83. Mensuration de l'amplitude de l'accommodation. — Nous avons défini l'amplitude de l'accommodation comme la différence entre les distances du *remotum* et du *proximum*, mesurées en dioptries. Elle exprime la valeur d'une lentille convexe qui, ajoutée à l'œil, formerait une image du *proximum* à l'endroit du *remotum*.

Pour la détermination du *proximum* il faut, à cause de la relation entre l'accommodation et la convergence, dont il sera question plus loin, fermer l'œil qu'on n'examine pas ; pour atteindre les plus forts degrés de l'accommodation, le malade est parfois obligé de loucher en dedans, et, s'il a les deux yeux ouverts, le besoin de voir simple fera qu'il n'atteindra pas la limite de son accommodation. Dans les cliniques, on se borne le plus souvent à déterminer la distance la plus petite à laquelle le malade peut encore lire de fins caractères. Il faut, pour cette détermination, employer des caractères très petits, autrement le malade peut encore les lire en deçà du *proximum*, bien que ne les voyant qu'indistinctement. — Une autre méthode consiste à déterminer le verre concave le plus fort à travers lequel le malade peut voir nettement des objets éloignés (le tableau d'acuité visuelle), puisque le verre concave en forme une image d'autant plus rapprochée qu'il est plus fort. On peut encore se servir des optomètres, celui de *Badal* ou de George Bull (1) par exemple.

La détermination du *proximum* est toujours peu sûre parce qu'on ne peut jamais savoir si le malade fait un effort maximum ou non. Elle réussit surtout mal chez les personnes peu intelligentes, chez les enfants, etc. Il est, du reste, en général de peu d'importance pratique

(1) L'optomètre de *Bull* ressemble extérieurement à celui de *Young* agrandi, mais le principe en est autre. On regarde par une lentille de 6 D. sans fentes, et la ligne est remplacée par une série de petits dominos. Le malade doit simplement indiquer le plus éloigné et le plus rapproché de ces dominos qu'il puisse voir nettement.

de le déterminer exactement; si l'on désire une mensuration exacte, on peut instiller de l'ésérine, mais on obtient ainsi une amplitude un peu supérieure à celle que le malade atteindrait même en faisant tous ses efforts.

Pour des recherches scientifiques il peut quelquefois être important de connaître exactement l'amplitude de l'accommodation. On peut alors la déterminer avec l'optomètre de *Young*, si l'observateur est maître de son accommodation, c'est-à-dire s'il sait faire un effort d'accommodation sans fixer un objet rapproché. Sinon, le meilleur moyen est de tendre un cheveu dans un anneau, et de voir combien on peut le rapprocher de l'œil sans qu'il paraisse flou. On peut avec avantage ajouter cet anneau à l'optomètre de *Young*.

L'amplitude de l'accommodation diminue d'une manière très régulière avec l'âge. Suivant *Donders*, la diminution commence à se faire sentir dès la fin de l'enfance. Elle est si régulière, au moins à partir de vingt-cinq ou trente ans, qu'on peut souvent déterminer l'âge du malade, à un ou deux ans près, au moyen de l'optomètre de *Bull* par exemple. A l'âge de quarante-sept ou quarante-huit ans, cette diminution commence à se manifester chez les emmétropes par l'apparition de la *presbyopie*. Chez les hypermétropes la presbyopie s'annonce plus tôt; elle apparaît plus tard dans la myopie faible, et les myopes d'un degré élevé ne deviennent jamais presbytes, quoique l'amplitude de l'accommodation diminue chez eux comme chez tout le monde. Chez les emmétropes il est très rare de trouver une exception à la règle posée ci-dessus, excepté si la pupille est très petite. Si donc un malade lit sans lunettes à cinquante ou cinquante-cinq ans passés, il doit être myope si la pupille a la grandeur ordinaire.

Les presbytes ne souffrent pas d'asthénopie accommodative : en lisant, ils sont obligés d'éloigner le livre, surtout le soir; la manière dont ils tiennent le livre loin de leurs yeux et près de la lampe, est très caractéristique.

Quant au choix des lunettes, il est clair que si l'on pose une distance de travail de 33 centimètres on n'est jamais obligé de donner à un emmétrope des verres d'une force supérieure à trois dioptries. Mais il est souvent utile, surtout lorsque l'acuité est diminuée, de choisir une distance de travail plus courte, par exemple de 25 centimètres, correspondant à 4 D. On rencontre souvent une tendance à donner des verres un peu forts, ce qui n'a du reste que peu d'inconvénient. Ainsi, la série :

50	55	60	65 ans
+ 1	+ 2	+ 3	+ 4 dioptries

est peut être un peu forte, surtout pour les degrés élevés.

Paralysie de l'accommodation. — On rencontre surtout cette maladie chez des enfants qui ont eu la diphtérie. Si l'on apprend que l'enfant ne peut plus lire depuis quelque temps, bien qu'il voie parfaitement de loin, et si l'on ne constate pas de l'hypermétropie, on peut être presque certain qu'il a eu la diphtérie. Le diagnostic de la paralysie est assuré lorsque l'enfant lit bien avec des verres convexes appropriés. En général, il n'y a pas d'autres paralysies oculaires, entre autres pas de mydriasis. On prescrit les verres convexes pour près jusqu'à la guérison, qui, en général, a lieu dans l'espace de deux ou trois mois.

La deuxième forme de paralysie qu'on a souvent l'occasion de rencontrer est celle qui fait partie d'une paralysie plus ou moins complète de la troisième paire. Elle est habituellement accompagnée de mydriasis et souvent de paralysies des muscles extérieurs. Il semble pourtant qu'elle puisse exister sans aucune complication. — Dans le glaucôme et la cyclite, la diminution de l'amplitude de l'accommodation est souvent un des premiers symptômes.

Spasme de l'accommodation. — On a décrit deux formes de spasme de l'accommodation. 1° Comme nous l'avons vu, on a eu l'habitude de poser le diagnostic de spasme de l'accommodation, lorsqu'on trouvait une réfraction plus faible après l'instillation de l'atropine. L'existence de ce prétendu spasme, qui est toujours d'un degré très faible (0,50 à 1,50 D.), est très douteuse, puisque la diminution de réfraction, après l'instillation de l'atropine, peut souvent être attribuable à la réfraction plus faible des parties périphériques du système optique de l'œil.

2° On observe quelquefois chez des hystériques un véritable spasme de l'accommodation, s'appliquant le plus souvent à toute l'amplitude et non à une faible partie comme dans le cas précédent. Ces cas sont rares ; ils donnent lieu à une myopie passagère qui, le plus souvent, se complique de diplopie monoculaire.

84. Mécanisme de l'accommodation. Historique A. — Théoriquement, l'œil pourrait s'accommoder par un des mécanismes suivants :

a. Augmentation de courbure de la cornée.

b. Augmentation de courbure du cristallin.

c. Allongement du globe.

Ces trois hypothèses ont trouvé leurs partisans, ainsi que les deux suivantes, qui sont théoriquement impossibles :

d. Avancement du cristallin.

e. Contraction de la pupille.

Quant à l'hypothèse *d*, il est à remarquer que, même si le cristallin

avançait jusqu'à toucher la cornée, cet avancement ne suffirait pas pour expliquer une amplitude d'accommodation un peu accusée. — La contraction accommodative de la pupille a été découverte par *Scheiner*. En regardant à travers un trou un peu plus petit que la pupille, il est facile de se persuader que cette contraction ne suffit pas pour expliquer l'accommodation.

En dehors de ces cinq théories, on en a proposé encore d'autres, bien moins plausibles. *Kepler* qui, le premier, posa le problème du mécanisme de l'accommodation, admettait un avancement du cristallin, tandis que *Descartes* fut le premier à admettre une augmentation de courbure de cet organe.

La théorie du changement de courbure de la cornée trouva de l'appui dans les mensurations de cette courbure faites par *Home* et par *Ramsden*, vers la fin du siècle dernier. — La discussion continua jusque vers le milieu de ce siècle, et les hypothèses fausses sur la nature de l'accommodation ont même amené deux belles découvertes. Les recherches théoriques de *Sturm* sur la forme du faisceau astigmate ont en effet été entreprises pour prouver que l'accommodation n'existe pas : cet auteur croyait qu'on voyait les objets éloignés avec la partie postérieure et les objets rapprochés avec la partie antérieure de l'intervalle focal. D'autre part, quand *Arlt* découvrit que la myopie dépend d'un allongement du globe, il était guidé par une fausse idée sur l'accommodation. Il croyait que l'action des muscles extérieurs produisait un allongement du globe, lorsqu'on s'efforce de voir de près, et, comme on savait que la myopie était une conséquence du travail de près, il en concluait que la myopie devait être produite par un allongement du globe. En faisant l'autopsie de quelques yeux excessivement myopes, il constata l'allongement du globe dans ces cas, et il crut avoir ainsi confirmé son hypothèse. Nous savons maintenant que cette forme de myopie ne dépend pas du travail de près et que l'accommodation ne s'obtient pas par un allongement du globe, mais par une augmentation de courbure du cristallin !

La question fut décidée par l'observation des modifications des images de *Purkinje* pendant l'accommodation, lesquelles prouvent que l'accommodation se fait par une augmentation de courbure de la surface antérieure du cristallin. La découverte fut faite en 1849 par *Max Langenbech*, mais n'attira guère l'attention ; ce n'est qu'après les beaux travaux de *Cramer* (1851-52) que la vérité fut définitivement acceptée. Cramer construisit un instrument qu'il appelait *ophtalmoscope*, avec lequel il pouvait commodément observer les images catoptriques du cristallin, et il lui fut facile de constater que celle de la surface antérieure fait, pendant l'accommodation, un mouvement centripète assez étendu. Ce fait a été

vérifié par tous ceux qui ont examiné les images catoptriques pendant l'accommodation; il est dû à l'augmentation de courbure de la surface antérieure.

Soit en effet ABD (fig. 107) la surface en état de repos et C son centre, A_1BD_1 la surface en état d'accommodation et C_1 son centre, O un objet (une lampe placée à grande distance). Pour trouver la position de l'image, on trace OC (OC_1) (en admettant que ce sont des surfaces apparentes, on n'a pas à tenir compte de la réfraction cornéenne). L'image doit se trouver sur cette droite, à égale distance entre la surface et le centre, en I pour la surface en repos, en I_1 pour la surface accommodée.

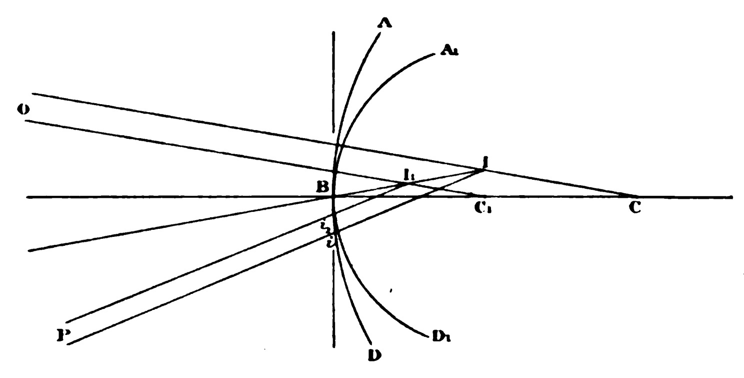


Fig. 107. — Mouvement centripète de l'image catoptrique de la cristalloïde antérieure pendant l'accommodation (Découverte de *Cramer*).

L'œil observateur voit les images projetées dans le plan pupillaire, il voit I en *i* et I_1 en i_1 ; il voit donc l'image faire un mouvement centripète pendant l'accommodation. Il en est de même, quelle que soit la position de l'œil observateur ; il n'y a qu'un seul point d'où il ne voit pas de mouvement, c'est lorsqu'il se trouve sur le prolongement de la ligne II_1 : dans ce cas, les deux images I et I_1 se couvrent, et il n'y a pas de déplacement apparent. La ligne II_1 passe par le point B, l'endroit où les deux surfaces se touchent. Ce point B, vers lequel le mouvement apparent de l'image a lieu, quelle que soit sa position dans la pupille, est habituellement situé un peu en dehors du centre de celle-ci ; il se trouve, en général, à peu près sur l'axe optique de l'œil. — Dernièrement, M. *Coronat* a de nouveau décrit le mouvement centripète, d'où il conclut, à tort, à un mouvement de bascule du cristallin.

La question de savoir par quel changement l'œil s'accommode pour voir de près, étant résolue, il restait à découvrir par quel moyen le changement s'effectue. *Cramer* attribuait le changement à la contraction de l'iris ; il croyait que l'iris en état de repos était fortement bombé en avant et s'aplatissait pendant l'accommodation, par une contraction simul-

tanée du sphincter et du dilatateur. Il pensait qu'il exerçait ainsi une compression des parties périphériques du cristallin, et que le muscle ciliaire, en se contractant en même temps, exerçait une traction sur la choroïde, ce qui poussait le corps vitré en avant. De cette manière, le cristallin, soumis à une pression dans toute son étendue, excepté sur la partie pupillaire, se bombait à cet endroit. Plusieurs autres théories imaginées après celle de *Cramer* invoquaient aussi la participation de l'iris dans l'acte de l'accommodation ; elles furent nécessairement abandonnées quand *v. Graefe* publia son célèbre cas d'aniridie complète, d'origine traumatique, dans lequel l'amplitude de l'accommodation était intacte.

Peu de temps après la découverte de *Cramer*, et sans connaître son travail, qui n'avait paru qu'en hollandais, *v. Helmholtz* faisait la même observation. Il employait comme objet la distance entre deux lampes (ou une lampe et son image formée par un miroir). Pendant l'accommodation, la distance entre les deux images diminuait considérablement, ce qui est facile à comprendre, puisqu'une sphère forme une image d'autant plus petite que son rayon est moindre.

v. Helmholtz confirma en outre l'observation faite antérieurement par *Hueck*, d'après laquelle la surface antérieure du cristallin avance un peu pendant l'accommodation. Il mesura l'épaisseur du cristallin, qu'il trouva un peu plus grande pendant l'accommodation qu'à l'état de repos. Il mesura en outre deux cristallins morts et trouva leur épaisseur plus grande que celle du cristallin vivant en état de repos. Il concluait, de plus, à une légère augmentation de courbure de la cristalloïde postérieure pendant l'accommodation.

Voici les chiffres qu'il adopta pour son œil schématique, comparés à ceux qu'il avait trouvés pour l'œil mort :

	ŒIL SCHÉMATIQUE		YEUX MORTS	
	Repos.	Accommodation.	A	B
Rayon de la surface antérieure	10mm	6mm	10mm.16	8mm.87
— — postérieure	6mm	5mm.5	5mm.86	5mm.89
Épaisseur	3mm.6	4mm	4mm.2	4mm.31
Distance focale	43mm.71	33mm.79	45mm.14	47mm.44
Indice total	1.4545		1.4519	1.4414

Plus tard, il admettait pour l'œil schématique un indice de 1.4371, ce qui donnerait pour l'œil vivant au repos une distance focale de 50mm.62 et pour l'œil accommodé 39mm.07.

Pour expliquer le mécanisme de l'accommodation, *v. Helmholtz* émit l'hypothèse suivante, qu'il ne donna pourtant que comme probable : en état de repos, le cristallin est maintenu aplati par une traction exercée

par la zonule. Lorsque le muscle ciliaire, dont il considérait l'extrémité antérieure comme fixe, se contracte, il tire la choroïde un peu en avant, ce qui relâche la zonule. Devenu libre, le cristallin se bombe alors par sa propre élasticité, en se rapprochant de la forme sphérique.

Tout d'abord, cette hypothèse ne semble pas avoir été généralement acceptée (1). *Hencke* et d'autres auteurs essayèrent d'expliquer les phénomènes observés par d'autres hypothèses. Après avoir découvert les prétendues fibres circulaires du muscle ciliaire, *Henri Müller* imagina que ce muscle changeait la forme du cristallin par une compression directe, idée qui fut abandonnée quand on remarqua que le corps ciliaire ne touche jamais le cristallin.

D'autre part, l'hypothèse de *v. Helmholtz* fut fortifiée par les expériences que *Hensen* et *Vœlkers* exécutèrent sur des chiens. Ils enfoncèrent des aiguilles très fines dans l'œil, un peu en arrière de l'*ora serrata* ; en électrisant le ganglion ciliaire, ils virent alors l'extrémité libre de l'aiguille décrire un mouvement en arrière, ce qui prouve que la choroïde est tirée en avant. Le phosphène de *Czermak*, qui du reste avait été vu par *Purkinje*, indique aussi une traction en avant des membranes intérieures de l'œil. En examinant des yeux auxquels on avait fait une iridectomie, *Coccius* a aussi constaté, pendant l'accommodation, des phénomènes qui pourraient militer en faveur de l'hypothèse de *v. Helmholtz* (gonflement des processus ciliaires, diminution au moins apparente du diamètre du cristallin et augmentation de la largeur de son *bord*, c'est-à-dire de la partie très périphérique qu'on voit noire à l'ophtalmoscope).

Grâce à ces observations, grâce aussi à l'autorité toujours croissante de *v. Helmholtz*, sa théorie cessa peu à peu d'être discutée et ses partisans, plus royalistes que le roi, proclamèrent comme certain ce qu'il avait lui-même, avec une grande réserve, exposé comme probable (2). C'est ainsi que *Mauthner* déclarait la question de l'accommodation définitivement résolue par la théorie de *v. Helmholtz*.

---

(1) Voir Donders. *Anomalies of the refraction of the eye*. London, 1864.

(2) Les grands hommes ne sauraient vraiment être trop réservés, par crainte de leurs partisans. *v. Helmholtz* a eu l'idée de comparer la cornée à une ellipsoïde et, quoiqu'il ait dit à dessein que la cornée ne ressemble pas à une telle surface, cette idée s'est pourtant tellement enracinée qu'elle sera difficile à faire disparaître. Il en est de même avec ses idées sur l'accommodation ; si l'on prend la peine de comparer les termes hésitants dont il se sert avec la manière de s'exprimer de ses partisans, on verra la différence. La participation de la surface postérieure du cristallin dans l'accommodation, que tout le monde considère comme certaine, n'avait guère pour *v. Helmholtz* que le caractère d'une grande probabilité. — En mesurant ses trois yeux vivants, il avait trouvé une épaisseur du cristallin d'environ un demi-millimètre plus faible que celle des cristallins morts ; et il ajoutait : « d'un autre côté, il me semble peu probable que j'aie commis une erreur d'un demi-millimètre en faisant ces mesures ». — Dans les traités modernes on lit au contraire : « Si on enlève le cristallin de l'œil d'un individu jeune, on le voit tout de suite prendre la forme sphérique, » etc.

Avant d'expliquer le mécanisme de l'accommodation comme je l'entends, je suis obligé d'ajouter quelques remarques à l'exposé historique qu'on vient de lire et qui est classique, parce qu'on rencontre des auteurs qui ont exposé des idées sur l'accommodation, à mon avis plus justes que celles qui ont eu cours jusqu'à présent. Je ferai d'abord une objection. S'il est vrai que le cristallin au repos est maintenu aplati par une traction exercée par la zonule, il faudrait s'attendre à trouver le cristallin mort et sorti de l'œil dans sa capsule, en état d'accommodation maxima, ou peut-être même encore plus bombé, puisqu'il n'est plus exposé à aucune traction. Les successeurs de *v. Helmholtz* ont, en effet, insisté beaucoup sur ce qu'il trouvait le cristallin mort plus épais que le cristallin vivant au repos, quoique la différence ne me semble pas dépasser la limite d'erreur (v. p. 67) ; mais, si l'on prend la peine d'examiner ses chiffres (p. 152), on verra que ses cristallins morts n'étaient nullement en état d'accommodation. Il mesura en tout trois yeux vivants et trouva, comme rayons de la surface antérieure du cristallin au repos, $11^{mm}9$, $8^{mm}8$, et $10^{mm}4$, tandis que pour les yeux morts il trouvait $10^{mm}16$ et $8^{mm}87$. Ses autopsies ne parlent donc nullement en faveur de son hypothèse.

Il en est de même pour des mesures que *Stadfeldt* a entreprises dernièrement. Il a mesuré onze cristallins humains vivants en état de repos avec l'ophtalmophakomètre : le rayon de courbure de la cristalloïde antérieure était en moyenne de $10^{mm}6$, tandis que la moyenne du même rayon de six cristallins morts, sortis de l'œil dans la capsule, et mesurés avec l'ophtalmomètre de Javal, sans être exposés à aucune traction, était de $11^{mm}4$.

85. Mécanisme de l'accommodation. Historique B. — C'est *Young* qui, le premier, a démontré que l'accommodation se fait par une augmentation de courbure des surfaces cristalliniennes. De plus, il avait sur ce qui se fait pendant l'accommodation des notions plus exactes que celles qui ont cours actuellement. Il écrivait son célèbre mémoire *sur le mécanisme de l'œil* en 1801, et il est vraiment étonnant qu'il ait dû se passer près d'un siècle avant que son livre fût compris et que nous fussions arrivés à en savoir autant que lui. Avant de prouver que l'accommodation se fait par une augmentation de courbure du cristallin, il commence par montrer qu'il ne peut guère être question que d'une augmentation de courbure, soit de la cornée, soit du cristallin, ou d'un allongement du globe, et il élimine comme théoriquement impossibles les autres hypothèses qu'on avait proposées. — Passons à la suite de son analyse.

a. L'ACCOMMODATION NE SE FAIT PAS PAR UNE AUGMENTATION DE COURBURE DE LA CORNÉE. — *Young* prouve cette thèse par une série d'expériences

dont plusieurs se rapprochent beaucoup de nos procédés ophtalmométriques modernes. Observant l'image cornéenne, il n'en constate pas le moindre changement pendant l'accommodation ; cependant, il obtient un changement très visible en exerçant une pression sur une partie périphérique de la cornée, et ce changement de courbure est bien moins considérable que celui qu'il faudrait pour expliquer l'accommodation.

Il est évident qu'un changement de la cornée suffisant pour expliquer l'accommodation aurait été très visible. *Young*, qui expérimentait avec ses propres yeux, avait à cette époque vingt-sept ans, et son amplitude d'accommodation mesurait environ 10 D. Actuellement, nous pouvons facilement mesurer un quart de dioptrie.

Son expérience la plus probante consistait à mettre l'œil sous l'eau (fig. 108) : il prenait un objectif de microscope faible, qui avait à peu près la même réfraction que la cornée, remplissait le tube d'eau et le plaçait devant son œil ainsi plongé dans l'eau. Dans ces conditions, l'action de la cornée qui se trouve entourée de liquide des deux côtés est éliminée et remplacée par celle de l'objectif. Or, dans cette expérience, l'amplitude de l'accommodation restait intacte.



Fig. 108.
Méthode pour mettre l'œil sous l'eau. (D'après *Young*.)

b. L'ACCOMMODATION NE SE FAIT PAS PAR UN ALLONGEMENT DU GLOBE. — Pour prouver ce fait, *Young* employait un procédé dont il pouvait se servir parce qu'il avait des yeux très saillants. Il tournait l'œil en dedans autant qu'il pouvait et appliquait contre sa surface antérieure un fort anneau en fer ; ensuite, il enfonçait l'anneau d'une petite clef du côté extérieur, entre l'œil et l'os, jusqu'à ce que le phosphène atteignît la fovea. Les anneaux étaient maintenus à une distance invariable. Placé entre l'anneau de fer et celui de la clef, l'œil ne pouvait pas s'allonger. Il devait donc, si l'accommodation se faisait par un allongement du globe, ou la trouver abolie, ou en tout cas voir le phosphène, dû à la pression, s'étendre sur une surface bien plus grande. Mais, dans ces conditions, l'accommodation subsistait inaltérée et la grandeur du phosphène ne changeait pas.

c. LES OPÉRÉS DE CATARACTE ONT PERDU TOUTE TRACE D'ACCOMMODATION. — En mesurant des opérés avec son optomètre, *Young* réussit facilement à prouver ce fait.

d. Il expose ensuite les preuves directes de l'augmentation de courbure du cristallin. C'est à ces expériences que j'ai fait allusion en disant

qu'il avait, sur l'accommodation, des notions qui devançaient notre époque. J'ai repris ces expériences il y a quelques années, et c'est en me basant sur elles, en les répétant et en y ajoutant d'autres, que je suis arrivé à me former, sur le mécanisme de l'accommodation, des idées qui diffèrent beaucoup de celles qui ont eu cours jusqu'à présent.

Il fut impossible à *Young* de tirer au clair le mécanisme de l'accommodation, puisqu'on ne connaissait pas à cette époque les muscles à fibres lisses, ce qui ne permettait pas de soupçonner la contractilité du corps qu'on a plus tard désigné comme muscle ciliaire ; aussi fut-il conduit à admettre la contractilité du cristallin, hypothèse qu'il abandonna bientôt. Ses recherches de ce côté devaient nécessairement rester sans résultat.

Le muscle ciliaire fut découvert, en même temps et séparément, par *Bowman* et par *Bruecke* (en 1846). Les idées sur la structure et sur le fonctionnement de ce muscle ont varié beaucoup. Tantôt on a considéré l'extrémité antérieure, tantôt l'extrémité postérieure comme fixe ; tantôt on admettait la mobilité des deux extrémités (*Donders*), tantôt on les considérait toutes deux comme fixes. Les descriptions les plus anciennes semblent les meilleures, surtout celle de *Henri Müller* ; la plupart des travaux modernes semblent influencés par l'hypothèse de *v. Helmholtz*. Suivant *Henri Müller*, il faut distinguer entre une partie superficielle plus longue (fig. 109), composée de fibres longitudinales qui en avant s'insèrent sur la sclérotique, près du canal de *Schlemm*, et qui, en arrière, se perdent dans la choroïde, et une partie profonde composée aussi, pour la plus grande partie, de fibres longitudinales mais plus courtes, et n'allant pas si loin, ni en avant, ni en arrière, que les fibres superficielles. Ces fibres ne s'insèrent pas à la sclérotique. La couche la plus profonde est composée de fibres obliques ou même circulaires. *Müller* pensait qu'elles formaient un véritable sphincter, mais l'existence d'un tel sphincter n'est nullement prouvée ; après avoir eu, pendant un certain temps, une direction circulaire, ces fibres semblent changer de direction et se continuer dans les fibres longitudinales profondes. Il semble qu'au moins une partie des fibres longitudinales profondes finissent ainsi ; d'autres semblent finir librement, sans insertion, dans la partie du muscle qui donne vers la chambre antérieure.

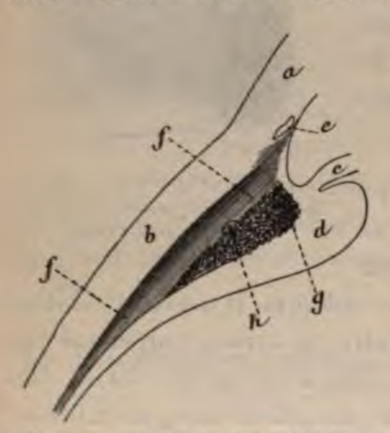


Fig. 109. — Muscle ciliaire de l'homme. (D'après *Henri Müller*.)

En divisant un œil durci en deux moitiés par une section longitudi-

nale, on découvre facilement le petit triangle blanc du muscle ciliaire. Si on exerce ensuite une traction sur l'iris, pour séparer le corps ciliaire de la sclérotique, on n'arrache pas le muscle à son insertion près du canal de Schlemm, mais on le divise en deux feuillets qui, en arrière, finissent tous les deux dans la choroïde. Dans l'œil frais il reste aussi toujours une partie du muscle adhérent à la sclérotique, comme *Mannhardt* l'a déjà remarqué. En faisant cette expérience, on produit un aspect qui rappelle beaucoup le muscle ciliaire de certains animaux (le chat, par exemple, fig. 110), chez lesquels le muscle se divise en avant en deux parties, séparées par un prolongement en arrière de l'espace de *Fontana*.

Fig. 110. — Partie ciliaire de l'œil de chat. *a*, Muscle ciliaire se divisant en avant dans ses deux feuillets ; *b*, canal de *Fontana* ; *c*, cornée ; *d*, iris.

Parmi les auteurs qui sont arrivés à un résultat différent de celui de *v. Helmholtz*, je citerai encore *Mannhardt* qui, par une étude de l'anatomie comparée du muscle ciliaire, était arrivé à la conclusion que c'est l'extrémité postérieure du muscle qui doit être considérée comme fixe et que l'accommodation doit se produire par une traction exercée par le muscle ciliaire sur la zonule. Il fut vivement attaqué par *Henri Müller* et son travail n'attira guère l'attention, parce qu'on ne pouvait pas se figurer qu'une traction sur la zonule pût produire une augmentation de courbure des surfaces cristalliniennes. Citons encore les observations remarquables de *Foerster* (1864), d'après lesquelles la tension diminue dans la chambre antérieure pendant l'accommodation. Il observa plusieurs malades affectés de petits kératocèles : chaque fois que le malade faisait un effort d'accommodation, le kératocèle s'affaissait pour se reproduire de nouveau lorsqu'il relâchait l'accommodation. L'instillation d'atropine faisait disparaître ce phénomène. Chez des personnes ayant une fistule cornéenne il obtenait un effet presque immédiat de l'atropine, en en mettant une goutte dans le sac conjonctival et en faisant faire un effort d'accommodation, le liquide étant aspiré dans la chambre antérieure par la diminution de tension. Ces belles observations, que *Arlt* déclarait équivalentes à des expériences physiologiques, ne sont guère explicables avec la théorie de *v. Helmholtz*.

86. Expériences personnelles. — J'arrive enfin à mes expériences sur l'accommodation : les premières (1°) dérivent des indications de *Young*.

1° *L'amplitude de l'accommodation diminue vers la périphérie de la pupille.*

a. Phénomènes aberroscopiques. — Nous avons déjà vu qu'avec l'aberroscope (v. p. 96) la plupart des personnes voient les ombres concaves vers la périphérie. Mais, en faisant un effort d'accommodation, la forme des ombres change : elles tournent leur concavité vers le milieu,



Fig. 111. — Changement des phénomènes aberroscopiques pendant l'accommodation. I. Repos. — II. Accommodation.

ce qui indique que la réfraction augmente vers le milieu (fig. 111). D'après ce que nous avons dit page 93, il en résulte que la réfraction centrale doit avoir augmenté plus que la réfraction périphérique.

Quelques personnes en état de repos voient les ombres droites ou légèrement concaves vers le milieu. Chez elles cette déformation devient alors encore plus prononcée pendant l'accommodation.

b. Changement du cercle de diffusion. — Si l'on observe un point lumineux éloigné après avoir rendu l'œil myope, il apparaît sous forme d'un disque lumineux, dont l'éclat est en général uniforme ou concentré au milieu. Pendant l'accommodation on le voit changer d'aspect; on voit un disque faiblement lumineux entouré d'un bord brillant. D'après l'explication donnée page 93, cette observation signifie, comme la précédente, que l'aberration de sphéricité se surcorrige pendant l'accommodation, c'est-à-dire que l'accommodation centrale est plus forte que l'accommodation périphérique. Bien que l'accommodation fasse augmenter la réfraction de l'œil de beaucoup de dioptries, le cercle de diffusion n'augmente que peu, au moins lorsque la pupille est dilatée. La figure 112 montre

l'aspect du cercle de diffusion d'un œil emmétrope ; rendu myope de 8 D. par une lentille convexe, cet œil voit le cercle de diffusion représenté



Fig. 112. — Aspect du point lumineux (œil droit du professeur *Koster*, cocaïnisé).

par la figure 113 *a*, tandis que la figure 113 *b* représente la forme sous laquelle il voit un point lumineux en faisant un effort d'accommo-

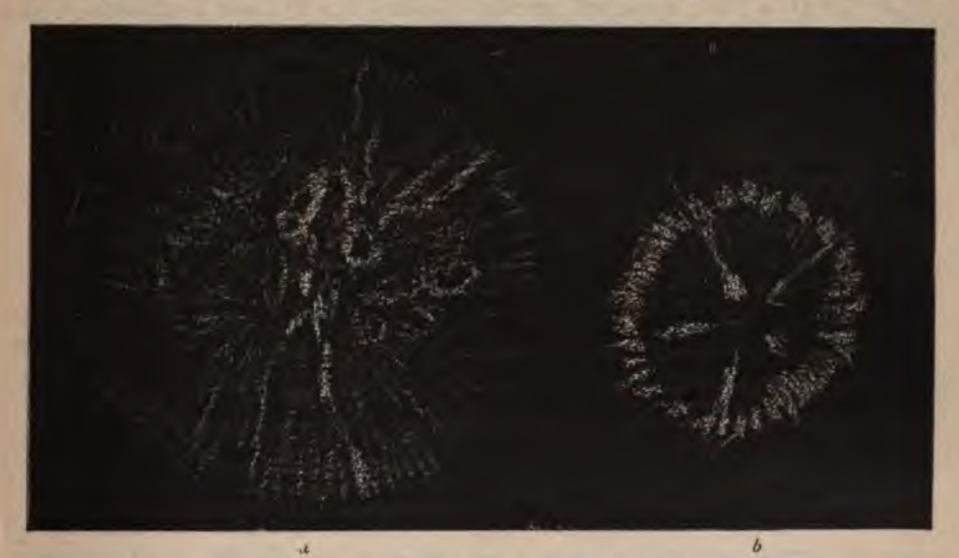


Fig. 113. — Même œil que dans la figure 112,

A, Aspect du point lumineux, l'œil étant rendu myope de 8 D. avec une lentille convexe (Repos).
B, Aspect du point lumineux, sans lentille, l'œil accommodant de 8 D.

Mesurée avec l'optomètre de Young, l'accommodation centrale était de 8 D., l'accommodation périphérique (à $2^{mm},5$ de l'axe) était de 3,3 D.

dation de 8 D. sans lentille. La pupille était dilatée. L'explication du phénomène est facile : qu'on se figure la pupille et le cercle de diffusion

divisés en zones correspondantes ; il est clair que, si l'accommodation est partout la même, toutes les zones du cercle de diffusion doivent augmenter, tandis que, si l'accommodation diminue vers la périphérie, les zones extrêmes augmentent peu ou point et les zones centrales viennent, en augmentant, couvrir en partie les zones périphériques. C'est là la raison pour laquelle le cercle de diffusion s'entoure pendant l'accommodation d'un bord brillant, sans augmenter beaucoup de diamètre.

c. Mensuration avec l'optomètre de Young. — L'optomètre de *Young* permet de mesurer directement la différence entre l'accommodation centrale et l'accommodation périphérique.

On mesure l'accommodation centrale avec les deux fentes rapprochées (v. p. 96), qu'on place autant que possible au milieu de la pupille, et l'accommodation périphérique avec la lame triangulaire qu'on descend juste assez pour pouvoir encore voir les deux lignes. De cette manière, on constate qu'*au bord de la pupille* (supposée de 5 millimètres) *l'amplitude de l'accommodation n'est que la moitié de l'accommodation centrale* ou encore moins. Si, après avoir dilaté ma pupille *ad maximum* (avec un mélange de cocaïne et d'homatropine), j'emploie un intervalle de 7 millimètres, mon accommodation qui, au milieu de la pupille, est de 2,5 D. à 3 D., descend presque à zéro (0,2 D.) sur les bords. Voici quelques mesures :

	Amplitude centrale (intervalle 0mm,75).	Amplitude périphérique (intervalle 5mm).
Young	9,8 D.	4,2 D.
Koster	8 D.	3,3 D.
Demicheri	7,5 D.	3,7 D.
—	6 D. (1)	3 D.
—	4 D. (1)	2 D.
Mme T.	6,7 D.	3,8 D.
Tscherning	3 D.	1,25 D.

On constate des différences encore plus considérables entre l'accommodation centrale et périphérique, en plaçant les deux fentes rapprochées tantôt au milieu de la pupille, tantôt près des bords :

	Amplitude de l'accommodation		
	Bord temporal.	Centre.	Bord nasal.
Demicheri (Homatropine)	»	6 D.	2 D.
— —	0	4 D. (1)	1 D.
Mme T	5 D.	6,7 D.	5 D.
Tscherning (Homatropine)	0,25 D.	3 D.	0

2° *Pendant l'accommodation, la surface antérieure du cristallin augmente de courbure au milieu, tandis qu'elle s'aplatit vers la périphérie.*

---

(1) L'accommodation était affaiblie par l'influence de l'homatropine.

Je place l'arc de l'ophtalmophakomètre horizontalement, et j'y fixe trois lampes à incandescence, de façon qu'elles se trouvent sur la même horizontale et juste assez éloignées l'une de l'autre pour que les images formées par la cristalloïde antérieure soient visibles toutes les trois dans la pupille. Je dirige le regard de l'observé de manière à ce que les trois images soient situées près du bord supérieur. En état de repos, elles



Fig. 114. — Images de réflexion, sur la cristalloïde antérieure de mon œil droit, de trois lampes placées sur une ligne horizontale, *a* en état de repos ; $b_1 b_2 b_3$, en différents états d'accommodation. Accommodation maxima 3 D. cocaïne.

sont rangées en ligne droite (fig. 114 *a*) ou suivant une courbe légèrement concave vers le centre (fig. 115 A) ; pendant l'accommodation, elles forment une courbe convexe vers le milieu (fig. 114 b_1, b_2, b_3, 115 B), et dont la courbure est d'autant plus prononcée que l'accommodation est plus forte.

Il est facile de voir que ce phénomène indique une courbure plus forte au milieu que vers la périphérie : en effet, imaginons un instant qu'on ait ajouté trois autres lampes, qui formeraient leurs images près du bord

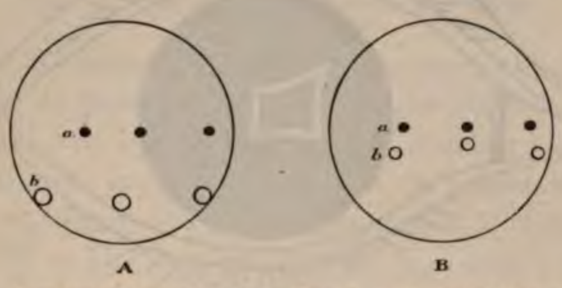


Fig. 115. — Images de réflexion de l'œil droit de Mme T. — A, en état de repos ; B, pendant l'accommodation (d'après un dessin du professeur *Koster*). — *a*, images cornéennes ; *b*, images de la cristalloïde antérieure. Accommodation de 6 D.

inférieur de la pupille, et considérons comme objets les distances entre deux lampes situées sur la même verticale. On aurait ainsi trois objets égaux, dont les images seraient de la même grandeur en état de repos (*aa* fig. 116), ce qui indique que la courbure est la même partout ; mais, pendant l'accommodation, l'image (*b* fig. 116) du milieu est considérablement plus petite que les deux autres b_1 b_1, ce qui indique que la courbure est plus forte à cet endroit.

On observe un phénomène analogue sur la cornée, dans les cas de kératocône. Le kératoscope de *Wecker et Masselon* est formé par un carré blanc sur fond noir. En examinant un cas de kératocône avec cet

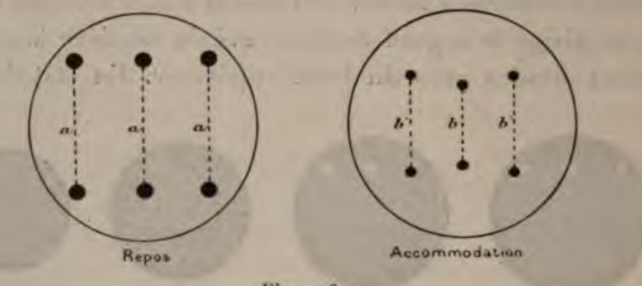


Fig. 116.

instrument, en faisant diriger le regard de façon que le sommet du kératocône coïncide avec l'axe de l'instrument, on voit les côtés de l'image du carré affecter la forme de courbes tournant leur convexité vers le milieu (fig. 117).

On pourrait croire, d'après ces phénomènes, que la courbure des parties périphériques augmente pendant l'accommodation, mais moins que celle de la partie centrale. Il n'en est rien : les parties périphériques



Fig. 117. — Déformation de l'image cornéenne d'un carré blanc dans un cas de kératocône. (D'après *Masselon*.)

subissent un véritable aplatissement, lequel donne pourtant lieu à une augmentation de réfraction. Pour comprendre ce fait, qui pourrait paraître paradoxal, il faut se rappeler ce que j'ai dit page 13 sur la réfraction par des surfaces du second degré. En dehors de l'axe, c'est la *normale* et non le rayon de courbure qui, pour la réfraction (et aussi pour la réflexion), joue le rôle du rayon de la sphère, en supposant que le point lumineux (ou, dans le cas de réflexion, l'œil observateur) se trouve sur l'axe.

Dans la figure 118, BDE représente une courbe du second degré, AF son axe, BH le rayon de courbure au point B, BG la *normale* en ce point, et la courbe pointillée un cercle tracé avec BG comme rayon. Le rayon lumineux AB est réfracté suivant BF, absolument comme si l'on avait remplacé la surface par le cercle BE.

Les mensurations que nous avons faites avec l'optomètre de Young nous permettent de calculer approximativement la forme de la surface, et le calcul expliquera en même temps ce que je viens de dire. Admettons que toute l'accommodation se fait par la surface antérieure et prenons l'expérience de *Demicheri* comme exemple ; il avait, au milieu, une accommodation de 7,5 D., à $2^{mm},5$ de l'axe une accommodation de 3,7 D. Admettons 10 millimètres pour le rayon de la surface antérieure à l'état de

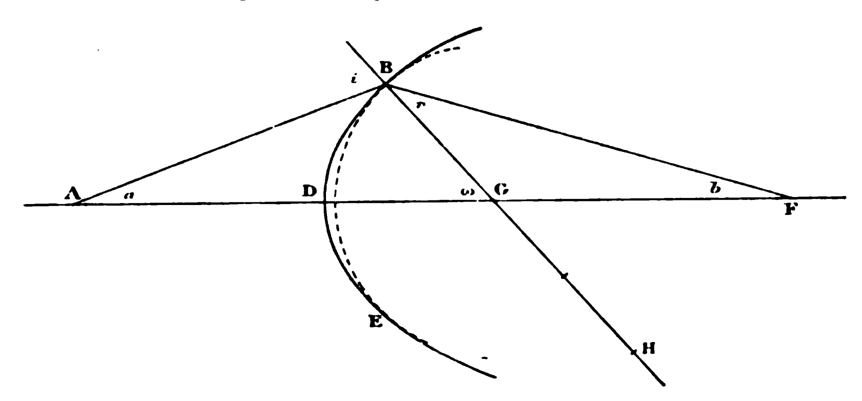


Fig. 118. — Réfraction par une surface parabolique.

repos et 1,06 pour l'indice du cristallin par rapport à l'humeur aqueuse. Nous exprimons la réfraction de la surface par l'inverse de la distance focale antérieure $\frac{1}{F} = \frac{n-1}{R} = \frac{0{,}06}{0{,}010^m} = 6$ D. Pendant l'accommodation, la réfraction centrale augmentait de 7,5 D. ; la réfraction de la surface serait donc à cet endroit 13,5 D. D'où l'on obtient le rayon ρ_0 par la formule $\frac{n-1}{\rho_0} = \frac{0{,}06}{\rho_0} = 13{,}5$ D., laquelle donne $\rho_0 = 4{,}44$. A $2^{mm},5$ de l'axe, l'accommodation était de 3,7 D., la réfraction de la surface en état d'accommodation 6 D. + 3,7 D. = 9,7 D., et la normale N, à cet endroit, se trouverait par la formule $\frac{n-1}{N} = 9{,}7 = \frac{0{,}06}{N}$, laquelle donne $N = 6^{mm},1$. On peut alors trouver le rayon de courbure ρ, à cet endroit, par la formule $\rho = \frac{N^3}{\rho_0^2}$, qui est valable pour toutes les surfaces du second degré. Elle donne ρ = 12 millimètres. On voit que la surface s'aplatit déjà à cet endroit pendant l'accommodation, et elle s'aplatit évidemment encore davantage plus loin, vers la périphérie. Si une petite partie de l'accommodation se fait par la surface postérieure, comme il est probable, l'aplatissement de la surface antérieure vers la périphérie doit être encore plus

fort, car il est probable que la part de l'accommodation qui se fait par la surface postérieure diminue relativement bien moins vite vers la périphérie. En admettant que la part de la surface postérieure soit de 1 D., aussi bien au centre que près du bord de la pupille, on aurait pour la surface antérieure $\rho_0 = 4^{mm},8$, $\rho = 14^{mm},2$. La surface aurait la forme d'un hyperboloïde assez aplati (fig. 119), dont le sommet correspondrait à peu près à l'axe optique de l'œil et se trouverait un peu en dehors de la ligne visuelle. Il est curieux de remarquer que, parmi toutes les surfaces de second degré ayant $\rho_0 = 4^{mm},8$, c'est cet hyperboloïde qui se rapproche le plus de la forme de la surface au repos. L'accommodation se fait donc par une déformation minima.

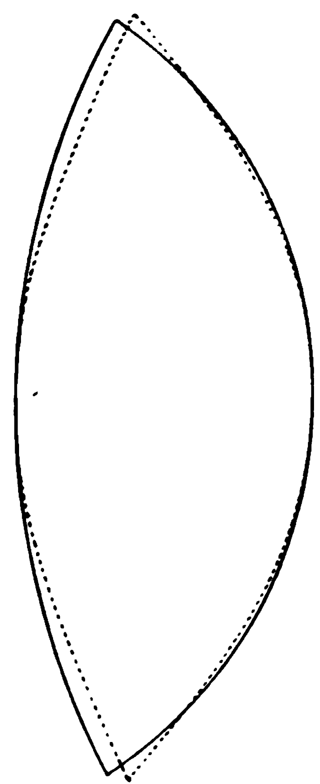


Fig. 119. — Déformation des surfaces cristalliniennes pendant l'accommodation. Les courbes pleines indiquent la forme en état de repos, les courbes pointillées la forme accommodative (accommodation de 7 D.).

3° *Vers la fin de l'accommodation, le cristallin subit un petit déplacement en bas.*

En plaçant le curseur A de l'ophtalmophakomètre au-dessus de la lunette et en recommandant à l'observé de regarder vers celle-ci, on observe, quand il fait un effort d'accommodation, les phénomènes suivants (fig. 120).

I. L'image de la cristalloïde antérieure descend vivement vers l'image cornéenne et finit par se cacher derrière celle-ci. C'est ce déplacement qui a été décrit par *Cramer*. Vers la fin de cette phase commence la contraction pupillaire.

II. Ce mouvement fini, la petite image de la cristalloïde postérieure descend à son tour par un mouvement lent et saccadé. Son déplacement est bien plus petit que celui de la grande image ; et, tandis que celle-ci se meut suivant une droite, la petite image se déplace suivant une courbe tournant sa concavité vers le milieu. La contraction pupillaire atteint son maximum pendant cette phase.

III. Lorsque l'observé relâche son accommodation, la petite image remonte pour reprendre sa place ancienne avec un mouvement vif, comme mue par un ressort.

IV. Ce mouvement fini, la grande image remonte à son tour ; son mouvement est plutôt lent et comme hésitant.

Les phénomènes accommodatifs semblent donc s'acccomplir en deux

temps. Le grand déplacement de l'image de la surface antérieure correspond à l'augmentation de convexité de cette surface. Quelle est la signi-



Fig. 120. — Les quatre phases apparentes de l'accommodation. ● Image cornéenne. — ○ Image de la cristalloïde antérieure. — • Image de la cristalloïde postérieure. A, accommodation ; B, relâchement.

fication du déplacement de la petite image? La question est assez diffi-

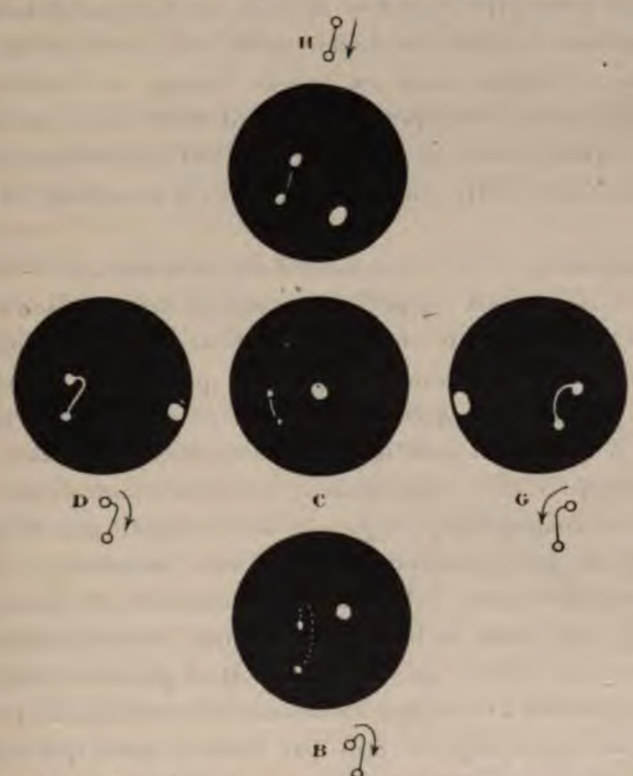


Fig. 121. — Œil droit de Mme T. — Déplacements de l'image de la surface postérieure pendant l'accommodation, observés avec l'ophtalmophakomètre. C, en fixant la lunette ; D, par regard à droite ; G, par regard à gauche ; H, par regard en haut ; B, par regard en bas. — La grande tache blanche est l'image cornéenne, les deux petites taches blanches indiquent la position de l'image de la cristalloïde postérieure en état de repos et pendant l'accommodation. Les flèches indiquent la direction du déplacement qui a lieu lorsqu'on fait un effort d'accommodation.

cile à résoudre, surtout parce que, pendant le déplacement de la petite image, la grande est cachée derrière l'image cornéenne, de telle sorte

qu'on ne peut pas voir si elle se déplace ou non ; il n'est pas facile de trouver une direction du regard telle qu'on puisse suivre les deux images cristalliniennes pendant tout leur déplacement accommodatif. Tantôt elles se cachent derrière l'image cornéenne, tantôt derrière l'iris. J'y ai pourtant réussi en employant deux lampes, une pour chaque image ; de cette manière, on peut se persuader que la grande image subit un petit déplacement en bas en même temps que la petite, mais ce déplacement de la grande image est caché par l'image cornéenne lorsqu'on exécute l'expérience comme je viens de la décrire. Or il est facile de voir qu'un déplacement simultané des deux images vers le bas indique que le cristallin descend en totalité ; on n'a qu'à observer le phénomène analogue avec une lentille ordinaire. — J'ajoute que la petite image se déplace vers le bas, quelle que soit sa position dans la pupille (fig. 121), ce qui indique que la cause ne peut être cherchée ni dans une augmentation de courbure de la surface, ni dans un déplacement en avant ou en arrière du cristallin. Mais ce déplacement en bas de l'image se combine avec un tout petit déplacement centripète qui a également lieu, quelle que soit la position de l'image dans la pupille, et qui est probablement dû à une faible augmentation (réelle ou apparente) de la courbure de la surface postérieure.

4° *Autres phénomènes accompagnant l'accommodation.* — Nous avons vu que *Hueck* a découvert un petit avancement de la surface antérieure ; *v. Helmholtz* a confirmé cette observation. Il est possible qu'on rencontre quelquefois un tel déplacement, quoique pour moi l'expérience de *v. Helmholtz* ne réussisse pas bien et que je ne sois pas sûr que ses observations n'admettent pas une autre explication. Dans l'œil avec lequel j'ai entrepris mes expériences, la surface antérieure n'avançait pas ; la partie correspondant à la pupille ne changeait pas de place, mais la partie couverte par l'iris reculait avec cette membrane. Il se forme pendant l'accommodation, à la surface antérieure de l'iris, une vallée circulaire (fig. 122), dont le bord périphérique correspondant au corps ciliaire monte à pic, tandis que le bord central présente une pente très douce, correspondant à la surface antérieure du cristallin. Je recommande cette observation qui a déjà été faite par *Cramer*, mais qui a souvent été considérée comme prouvant un élargissement de la chambre antérieure dans l'angle irien ; il est facile de voir que les parties les plus périphériques de la paroi postérieure de la chambre antérieure ne reculent pas. Les phénomènes ne sont pas toujours également prononcés, mais on peut presque toujours en trouver au moins une trace chez des sujets jeunes. On peut faire l'observation à l'éclairage oblique, mais l'emploi de la loupe (monoculaire) n'est pas à recommander ; il faut la vision

binoculaire pour bien se rendre compte du changement de niveau de l'iris. Lorsque le phénomène est bien prononcé, on obtient ainsi une idée assez nettte de la forme conique que prend la cristalloïde antérieure pendant l'accommodation.

Quant à la surface postérieure du cristallin, ses changements sont moins manifestes. Nous avons vu que les phénomènes catoptriques semblent indiquer une légère augmentation de courbure. La surface postérieure

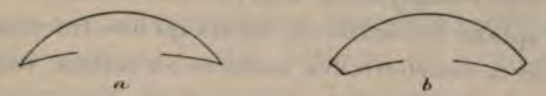


Fig. 122. — Changement de la chambre antérieure pendant l'accommodation : *a*, repos ; *b*, accommodation.

reste à peu près à sa place pendant l'accommodation ; quelquefois, on observe pourtant des phénomènes qui semblent indiquer qu'elle recule un peu.

La question si discutée de savoir si l'épaisseur du cristallin change pendant l'accommodation, est très difficile à trancher, parce que le changement, s'il existe, ne dépasse pas la limite d'erreur des observations. Influencé peut-être par l'observation de *v. Helmholtz*, j'ai cru constater une augmentation d'épaisseur. Dernièrement, j'ai repris la question en collaboration avec le professeur *Koster* ; nous nous sommes donné beaucoup de peine, sans pouvoir arriver à un résultat certain.

87. Théorie de l'accommodation de l'auteur. — D'après les observations que je viens de décrire dans le paragraphe précédent, et qui peuvent se résumer en disant que l'*accommodation se fait par la formation passagère d'un lenticone antérieur*, l'hypothèse de *v. Helmholtz* ne me semble plus soutenable ; au moins je suis incapable de comprendre comment un tel mécanisme pourrait produire un aplatissement de certaines parties du cristallin en même temps qu'une augmentation de courbure des autres parties. Je me suis donc mis à étudier les qualités physiques du cristallin, en me servant surtout de cristallins de cheval, qui sont très grands et, par conséquent, facilement maniables, et j'ai trouvé qu'on ne peut pas considérer le cristallin comme un simple corps élastique, dans le sens de *v. Helmholtz*. Le contenu du cristallin se compose, chez l'adulte, de deux parties, le noyau, qui ne peut pas changer de forme, et la couche superficielle qui, au contraire, possède cette faculté à un degré très élevé ; sa consistance est à peu près celle d'une solution de gomme très épaisse. Je désigne cette couche sous le nom de *couche accommodative*, pour bien faire ressortir que c'est grâce à elle que l'œil

d'une telle traction. Nous avons vu qu'il se compose, pour la plus grande partie, de fibres longitudinales, que les fibres les plus superficielles s'insèrent en avant sur la sclérotique, près du canal de Schlemm, tandis que les fibres moyennes finissent librement près de la surface qui donne vers la chambre antérieure, et que les fibres les plus profondes se combinent avec les fibres obliques et circulaires qui forment peut-être leurs terminaisons. Le muscle a la forme d'un petit triangle dont la surface extérieure s'applique sur la sclérotique, tandis que la surface intérieure est tournée vers le corps vitré, et la surface antérieure vers la chambre antérieure. Pendant la contraction, l'angle antéro-extérieur reste fixe, l'angle antéro-intérieur recule, comme on peut le voir directement dans la chambre antérieure, et l'extrémité postérieure avance, comme les expériences de *Hensen* et *Voelkers* l'ont prouvé. Le reculement de la partie antérieure exerce sur la zonule la traction qui produit la déformation de la surface antérieure; l'avancement de l'extrémité postérieure exerce sur la choroïde une traction qui a pour effet de soutenir le corps vitré et indirectement le cristallin, de sorte que celui-ci ne recule pas sous l'influence de la traction. Pour le résultat définitif il importe peu à laquelle des deux actions on attribue la prépondérance. Figurons-nous par exemple un instant que l'extrémité antérieure soit fixe : le résultat de la contraction du muscle serait que le cristallin, à la suite de la traction exercée sur la choroïde, serait poussé un peu en avant, ce qui produirait aussi une traction sur la zonule qui suffirait pour la déformation de la surface cristallinienne. Il peut se faire qu'il existe sous ce rapport des différences individuelles, comme semble l'indiquer le désaccord entre les observations de *v. Helmholtz* et les miennes (1).

J'estime que cette théorie rend assez bien compte de la plus grande partie des phénomènes qui accompagnent l'accommodation. Elle explique d'abord la déformation de la surface antérieure; la direction de la zonule dans l'œil vivant est telle, que l'effet de la traction doit agir presque exclusivement sur la surface antérieure. Elle explique également le changement de niveau de l'iris et la diminution de tension dans la

---

(1) Suivant certains auteurs (*Arlt, Iwanoff*), le muscle ciliaire diffère chez les myopes et chez les hypermétropes. S'il en est ainsi, on pourrait peut-être chercher la prédisposition à la myopie dans une structure spéciale du muscle ciliaire. Il est en effet clair que, plus les fibres superficielles sont développées, plus la traction exercée sur la choroïde doit être forte, et cette traction a évidemment pour effet de protéger la sclérotique contre l'augmentation de tension pendant l'accommodation. Si l'extrémité postérieure du muscle était fixe, la sclérotique serait exposée à cette tension chaque fois qu'on accommoderait. Sous ce rapport, il peut être intéressant de remarquer que l'œil que j'ai examiné, dans lequel la cristalloïde antérieure n'avançait pas pendant l'accommodation, est myope d'environ 6 D, et que celui des trois yeux de v. Helmholtz qui présentait l'avancement le plus faible était légèrement myope.

chambre antérieure (par le reculement des parties périphériques de la surface du cristallin et de l'iris). La petite descente du cristallin, lorsque l'accommodation atteint son maximum, tient probablement à ce que le cristallin en état de repos est légèrement déplacé vers le haut par rapport au cercle ciliaire, de façon que les fibres zonulaires inférieures se tendent plus que les fibres supérieures pendant l'accommodation.

Les phénomènes observés par *Coccius* sont probablement dus à une illusion d'optique. En tenant le cristallin de cheval devant un fond rouge, on voit cette couleur à travers tout le cristallin, excepté un bord assez étroit où les rayons rouges subissent une réflexion totale. En exerçant une traction sur la zonule, ce bord s'élargit au dépens de la partie transparente, ce qui peut faire croire à une diminution du diamètre du cristallin.

Quant à la contraction de la pupille qui accompagne l'accommodation, il est évident qu'elle a pour effet d'éliminer les parties périphériques du cristallin qui, à cause de leur aplatissement, rendraient l'image trop mauvaise. On remarque aussi que, lorsqu'on dilate la pupille avec un alcaloïde qui n'agit que peu ou point sur l'accommodation (cocaïne ou homatropine), la vue de près diminue relativement plus que la vue de loin ; on attribue souvent ce phénomène à une diminution de l'amplitude de l'accommodation ; mais, tout au moins avec la cocaïne, je n'ai que très rarement pu constater une véritable diminution de cette amplitude. Il est pourtant à remarquer que les yeux qui ont une forte aberration de sphéricité, corrigent cette aberration en accommodant ; ces yeux peuvent donc voir relativement mieux de près que de loin, quand la pupille est dilatée.

Quand, par l'effet d'une paracentèse, on laisse écouler l'humeur aqueuse, on sait que le cristallin et l'iris viennent s'appliquer contre la cornée, sans que cette membrane change notablement de forme. Suivant toute probabilité, le cristallin se trouve alors en état d'accommodation maximum, car il ne pourrait faire un tel mouvement sans subir une forte traction par la zonule. En faisant la paracentèse sur l'œil d'un lapin, *Mannhardt* prétend aussi avoir vu le déplacement accommodatif des images de Purkinje, au moyen de l'ophtalmoscope de *Cramer*. Il devient donc probable que la contraction pupillaire qui accompagne l'écoulement de l'humeur aqueuse est accommodative. Mais la contraction pupillaire accompagne l'écoulement de l'humeur aqueuse même sur un œil mort ; en introduisant la pointe d'une seringue de *Pravaz* dans la chambre antérieure, il est facile de dilater ou de contracter la pupille à volonté, en injectant ou retirant du liquide. Cette contraction est donc purement mécanique, et il devient alors probable que la contraction accommodative

de la pupille l'est aussi, quoique son mécanisme ne soit pas encore bien élucidé.

Bibliographie. — Max Langenbeck. *Klinische Beitraege zur Chirurgie und Ophthalmologie.* Gœttingue 1849. — Cramer (A.). *Het Accommodatievermogen der Oogen.* Haarlem, 1853 (Trad. en allemand par Doden. Leer, 1855). — Helmholtz (H.). *Ueber die Accommodation des Auges. Archiv für Ophtalmologie*, I, 2. — Graefe (A.). *v. Fall von acquirirter Aniridie als Beitrag zur Accommodationslehre.* A. f. O. VII, 2. p. 150. — Bruecke (E.). *Anatomische Beschreibung des menschlichen Augapfels.* Berlin, 1847. — Bowman (William). *Lectures delivered on the London Royal ophtalmic hospital.* Moorfields, 1847. — Müller (Heinrich). *Ueber einen ringformigen Muskel am Ciliarkoerper des Menschen und ueber den Mechanismus der Accommodation.* A. f. O. III, p. 1. — Mannhardt. *Bemerkungen ueber den Accommodationsmuskel und die Accommodation.* Arch. für Opht., IV, 1. — Hueck (A.). *Die Bewegung der Krystallinse.* Leipzig, 1841. — Coccius (A.). *Ueber den Mechanismus der Accommodation des menschlichen Auges.* Leipzig, 1867. — Fœrster (R.). *Zur Kenntniss der Accommodationsmechanismus,* Kl. M. f. A. 1864, p. 368. — Rochon-Duvignaud. *Recherches sur l'angle de la chambre antérieure et le canal de Sculemm.* Paris, Steinheil, 1892. — Tscherning (M.). *Étude sur le mécanisme de l'accommodation. Arch. de phys.* Janvier 1894. — *L'optomètre de Young et son emploi. Arch. de phys.* Octobre 1894. — *Recherches sur les changements optiques de l'œil pendant l'accommodation. Arch. de phys.* Janvier 1895. — *Théorie des changements optiques de l'œil pendant l'accommodation. Arch. de phys.* Janvier 1895. — Crzellitzer (A.). *Die Tscherningsche Accommodationstheorie.* Graefe's Archiv., XLII, 4. 1896. — Stadfeldt (A.). *Die Veraenderung der Linse bei Traction der Zonula.* Kl. M. f. A. Décembre 1896. — Crzellitzer (A.). *Zonularspannung und Linsenform.* Bericht der Heidelberger Gesellschaft. 1896.

CHAPITRE XIII

OPHTALMOSCOPIE

88. Méthodes pour éclairer le fond de l'œil. — Depuis les temps les plus reculés, on sait que la pupille de certains animaux (chien, chat, etc.) peut paraître lumineuse. On croyait le phénomène analogue à la production de lumière du ver luisant *(phosphorescence)*; en réalité, il est dû à l'existence du *tapetum*, partie de la choroïde dont la surface rétinienne est fortement réfléchissante et possède un reflet métallique : sa destination n'est pas encore bien élucidée. Quant à la pupille humaine, on sait depuis longtemps qu'elle peut, dans des cas très rares, paraître lumineuse à la suite du développement d'une tumeur intérieure de l'œil *(œil-de-chat amaurotique)*. *Beer* avait aussi remarqué la lueur oculaire dans certains cas d'aniridie.

Vers 1850, *Cumming* et *Bruecke* trouvèrent la méthode pour faire paraître lumineuse la pupille de l'œil normal, et *v. Helmholtz* fit, en 1851, la grande invention de l'ophtalmoscope, qui devait réformer l'ophtalmologie.

Comme tout autre objet, le fond de l'œil renvoie de la lumière lorsqu'il est éclairé. Soit A (fig. 125) un point lumineux pour lequel l'œil est accom-

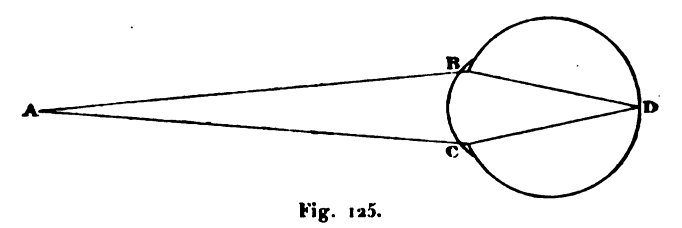


Fig. 125.

modé. Ce point envoie dans l'œil le cône ABC, dont les rayons se réunissent en D Ce point étant éclairé, il renvoie des rayons dans toutes les directions ; ceux contenus dans le cône DBC sortent de l'œil pour se réunir au point A. En général, l'œil peut donc renvoyer de la lumière à un point qui lui en a envoyé d'abord, et si, dans des circonstances ordinaires, la pupille de l'œil paraît noire, c'est parce que la pupille de l'œil

observateur, étant noire, ne peut pas envoyer de la lumière dans l'œil observé. Pour qu'elle paraisse lumineuse, il faut placer une source lumineuse devant l'œil observateur ; c'est ce qu'on fait au moyen de l'ophtalmoscope.

Voici les différentes circonstances dans lesquelles on peut voir la pupille lumineuse :

a. La pupille des *albinos* est vue rouge parce que le fond de l'œil est éclairé par de la lumière qui a traversé la sclérotique. Si l'on couvre l'œil avec un écran percé d'une ouverture correspondant à la pupille, celle-ci paraît noire. — En concentrant une lumière vive sur la sclérotique au moyen d'une lentille, on peut rendre lumineuse la pupille d'un œil normal, surtout si la personne est blonde.

b. Si, dans le cas de la figure 125, l'œil n'est pas exactement au point pour le point lumineux, celui-ci éclaire sur la rétine un cercle de diffusion (*ab*, fig. 126). Ce cercle renvoie de la lumière, non seulement dans

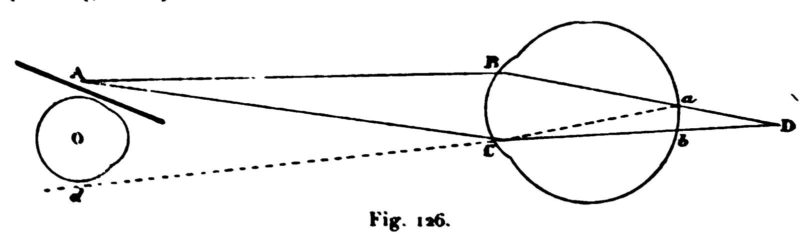


Fig. 126.

la direction du point lumineux, mais aussi dans les directions voisines : ainsi, le point *a* renvoie le cône B*a*C qui, en dehors de l'œil, prend la direction ABC*d*, de sorte que l'œil observateur *o* peut se placer dans ce cône. En disposant une lampe à quelque distance de l'œil observé et en visant près du bord de la flamme contre laquelle on s'abrite avec un écran, on peut souvent voir la pupille lumineuse, surtout si elle est un peu grande et que le malade ne fixe pas la flamme.

L'expérience réussit plus facilement si l'œil observé est fortement amétrope, parce qu'alors les rayons sortis de l'œil arrivent vite à diverger fortement, de sorte que l'œil observateur peut facilement trouver place dans le cône lumineux. Si l'œil n'est pas amétrope, on peut le rendre tel au moyen d'une forte lentille ou en le mettant sous l'eau, ou, comme *Bellarminoff* l'a fait dernièrement, en mettant une lamelle de verre en contact avec la cornée, de façon à éliminer la force réfringente de cette membrane. Par ce dernier moyen on peut rendre le fond de l'œil visible pour plusieurs personnes à la fois. — Dans le cas de l'*œil-de-chat amaurotique*, la présence de la tumeur dans l'intérieur de l'œil rend celui-ci fortement hypermétrope, de sorte que le fond devient facilement visible.

c. PRINCIPE DE L'OPHTALMOSCOPE DE V. HELMHOLTZ — Soient AB (fig. 127) une plaque de verre plan parallèle et L une lampe qui envoie de la lumière vers cette plaque. La plus grande partie de la lumière traverse la plaque, mais une partie est réfléchie vers l'œil observé D. Elle entre dans cet œil et éclaire la rétine. Celle-ci renvoie de la lumière vers la plaque : une partie de cette lumière est réfléchie vers la lampe L, mais la plus grande partie traverse la plaque et entre dans l'œil observateur C qui, par conséquent, voit lumineuse la pupille de l'œil observé.

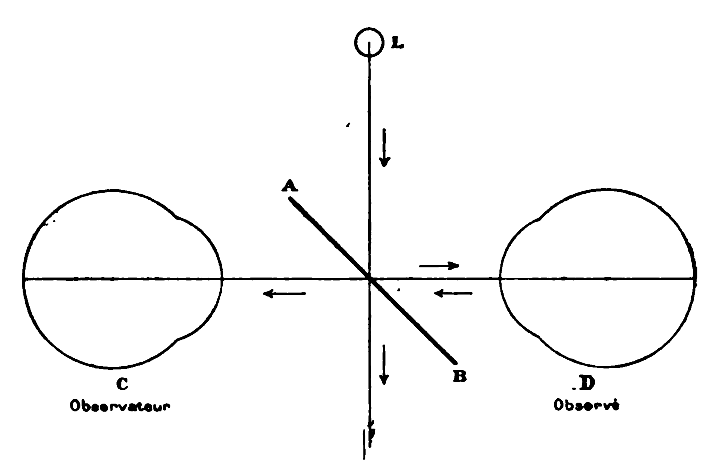


Fig. 127. — Principe de l'ophtalmoscope de *v. Helmholtz*.

Pour remédier à la perte de lumière qui, provenant de L, traverse la plaque, *v. Helmholtz* employait plusieurs plaques placées l'une derrière l'autre.

d. PRINCIPE DE L'OPHTALMOSCOPE ORDINAIRE. — On obtient un éclairage plus intense au moyen d'un miroir étamé ; l'observateur regarde à travers une petite partie dont on a enlevé l'étain ou qu'on a perforée. — Comme un miroir concave concentre la lumière, il éclaire plus qu'un miroir plan et celui-ci plus qu'un miroir convexe (1). En général, il est utile d'avoir un bon éclairage ; mais on voit quelquefois mieux des altérations très fines du fond de l'œil en se servant d'un éclairage faible,

---

(1) L'éclat de l'image rétinienne de la flamme qui se forme dans l'œil observé est le même dans tous les cas, mais l'image est plus grande lorsqu'on emploie un miroir concave que lorsqu'on se sert d'un miroir plan ou convexe. — On peut s'en rendre compte en mettant son œil à la place de l'œil observé. L'image de la flamme qu'on voit alors dans le miroir correspond à la partie éclairée de la rétine ; elle est plus grande dans le cas du miroir concave qu'avec le miroir, plan ou convexe. — En plaçant la flamme derrière le miroir, on voit, dans les mêmes circonstances, le trou comme un cercle lumineux qui correspond à la partie du fond de l'œil que l'observateur peut voir à la fois (champ ophtalmoscopique).

et des opacités très fines du corps vitré ou du cristallin disparaissent si l'éclairage est trop fort.

L'ophtalmoscope est le seul moyen pratique pour éclairer l'œil. Néanmoins, une autre méthode peut quelquefois rendre des services. On place la lampe en arrière de l'observateur, de façon que la lumière arrive à l'œil observé en rasant la tête de l'observateur ; on concentre la lumière sur l'œil avec une lentille. Lorsque la pupille est dilatée, on peut voir ainsi le fond de l'œil faiblement éclairé et on distingue souvent très nettement des détails situés très en avant dans le corps vitré (tumeurs du corps ciliaire, décollements, etc.).

89. Examen à l'image droite (*v. Helmholtz*). — Les conditions pour voir la pupille lumineuse étaient connues, avant *v. Helmholtz*, par les travaux de *Cumming* et de *Bruecke*, et *Babbage* semble déjà avoir éclairé la pupille avec un miroir dont l'étamage était enlevé sur une petite partie servant à l'observation ; mais aucun de ces savants n'avait pensé à étudier les conditions sous lesquelles cette lueur oculaire peut former une image du fond de l'œil.

En préparant son cours, dans lequel il voulait représenter à ses élèves les méthodes pour faire paraître la pupille lumineuse, *v. Helmholtz* se posa le problème, qui n'était pas difficile pour un physicien exercé. Il arriva facilement à le résoudre théoriquement et construisit alors le premier ophtalmoscope, en combinant quelques lamelles de verre avec les lentilles d'une boîte d'essai ; après quelques jours de travail acharné, il parvint à voir le fond de l'œil vivant, que jamais personne n'avait vu avant lui.

V. Helmholtz employait l'examen à l'*image droite*. Admettons que l'observateur soit emmétrope (s'il ne l'est pas, il doit corriger sa réfraction) : il peut alors voir le fond de l'œil d'un autre emmétrope sans aucune préparation, puisque les rayons sortant de l'œil observé sont parallèles. Si l'observé n'est pas emmétrope, il faut le rendre emmétrope. On cherche donc le verre convexe le plus fort ou le verre concave le plus faible avec lequel on peut voir le fond de l'œil nettement : ce verre indique en même temps la réfraction de l'œil ; mais il faut que l'observateur prenne l'habitude de ne pas accommoder, autrement les résultats seront faussés. — La réfraction qu'on trouve à l'ophtalmoscope, doit être d'accord avec celle qu'on trouve à l'examen subjectif. Il est pourtant à remarquer que le verre de l'ophtalmoscope se trouve le plus souvent un peu plus loin de l'œil examiné qu'un verre placé dans une monture. On trouve donc, comme par la méthode subjective, un chiffre trop faible pour l'hypermétropie, trop fort pour la myopie, et

l'erreur est plus prononcée à l'examen ophtalmoscopique, à cause de la distance plus grande. Pour les faibles degrés d'amétropie, elle est insignifiante ; pour les forts degrés, de myopie surtout, elle suffit pour rendre la détermination illusoire. — L'hypermétropie latente se dévoile le plus souvent à l'examen ophtalmoscopique, parce que dans la chambre obscure les malades ne fixent pas.

Grossissement. — Pour avoir une expression numérique du grossissement ophtalmoscopique, on peut comparer l'image rétinienne qui se forme dans l'œil observateur d'un objet (la papille du fond de l'œil examiné) avec l'image rétinienne qu'aurait l'œil observateur du même objet, mis à nu et placé à la distance de travail de l'observateur. On met souvent cette distance à 20 centimètres.

Admettons que les deux yeux, celui de l'observateur et celui de l'observé, soient emmétropes.

Soit O = AB (fig. 128) l'objet du fond de l'œil observé ; nous traçons les rayons AC et BD parallèlement à l'axe. Ces deux rayons viennent s'entre-croiser au foyer antérieur Φ_1, et tous les autres rayons provenant

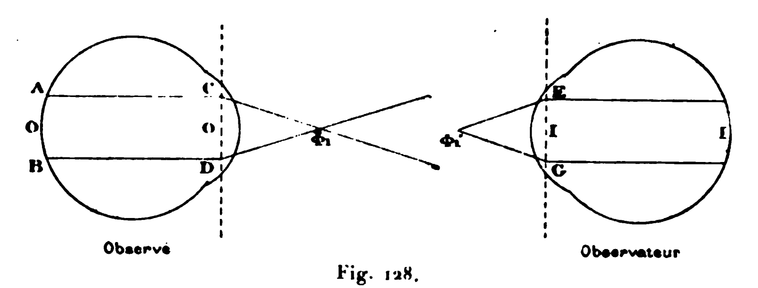


Fig. 128.

de A et de B leur sont parallèles : entre autres les rayons Φ'_1E et Φ'_1G qui, prolongés, passent par le foyer antérieur de l'œil observateur. Après la réfraction dans cet œil, ces rayons sont parallèles et déterminent la grandeur de l'image I. En désignant par F_1 la distance focale antérieure de l'œil observé, par F_1' celle de l'œil observateur, les deux triangles semblables $CD\Phi_1$ et $EG\Phi'_1$ donnent la relation :

$$\frac{I}{O} = \frac{F'_1}{F_1}.$$

On voit que, si les systèmes optiques des deux yeux sont pareils, I est égal à O. La papille de l'œil observé forme dans l'œil observateur une image égale à elle-même. En plaçant le fond de l'œil mis à nu à la distance de travail égale à 20 centimètres, l'image rétinienne I_1 de l'objet O (fig. 129) se trouverait par la formule :

$$\frac{O}{I_1} = \frac{200}{F'_1}.$$

En multipliant cette formule par la précédente, on obtient le grossissement dans l'image droite :

$$G = \frac{I}{I_1} = \frac{200^{mm}}{F_1}.$$

En admettant 15 millimètres pour F_1, le grossissement serait d'environ 13, mais ce chiffre est arbitraire puisque la distance de travail a été choisie arbitrairement.

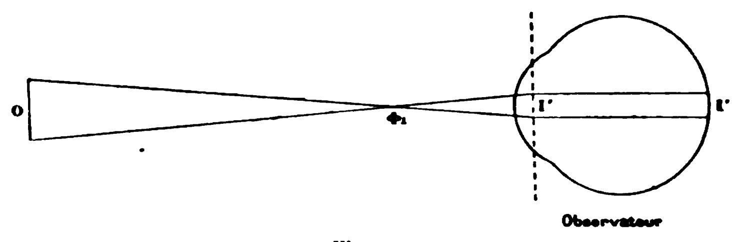


Fig. 129.

Si l'œil observé est myope, le grossissement est plus fort, en supposant que le verre correcteur se trouve au delà du foyer antérieur de l'œil observé, comme c'est toujours le cas. La construction est la même que dans le cas précédent, mais en rencontrant le verre concave les rayons CΦ et DΦ (fig. 130) sont rendus plus divergents. Les rayons Φ'_1E et Φ'_1G qui leur sont parallèles divergent donc plus que dans le cas pré-

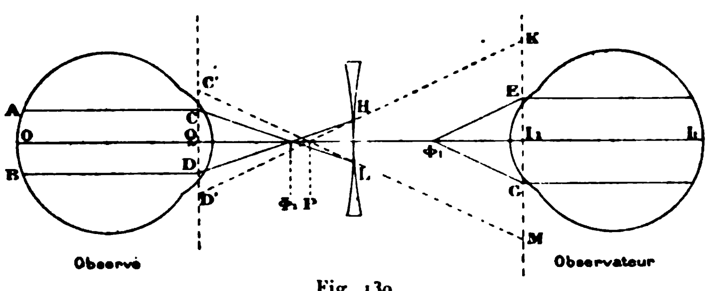


Fig. 130.

cédent, ce qui rend l'image I_1 plus grande. S'il s'agit d'une myopie de courbure, le grossissement est encore plus fort ; le point Φ_1 est en effet situé plus près de l'œil observé, ce qui fait que les rayons HK et LM, et par conséquent aussi les rayons Φ'_1E et Φ'_1G, divergent encore plus. Dans l'œil hypermétrope l'inverse a lieu. Il en résulte que, dans un œil astigmate, on voit la papille allongée dans la direction du méridien le plus réfringent.

Champ ophtalmoscopique. — D'après *v. Helmholtz*, on trouve le champ ophtalmoscopique, c'est-à-dire l'ensemble des parties du fond de l'œil

visibles simultanément, en joignant par des lignes droites le milieu de la pupille de l'œil observateur aux bords de la pupille de l'œil observé, et en faisant subir à ces droites la réfraction dans l'œil observé, comme si elles étaient des rayons. La figure 131 montre que le champ est plus grand dans l'œil hypermétrope, plus petit dans l'œil myope, si l'œil observateur se trouve au delà du foyer antérieur de l'œil observé, comme c'est toujours le cas. Comme c'est le bord de la pupille de l'observé, qui limite le champ, on l'augmente en instillant de l'atropine.

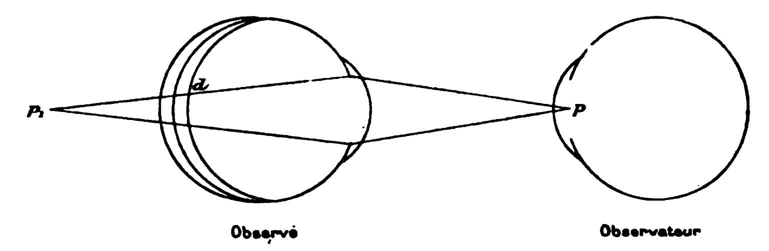


Fig. 131. — Construction du champ ophtalmoscopique.

Ceci est un exemple des constructions inverses qu'on emploie souvent dans l'optique géométrique : pour savoir quels points du fond de l'œil observé peuvent envoyer des rayons dans la pupille de l'œil observateur, on retourne le problème en se figurant la pupille de l'œil observateur lumineuse et en cherchant quelles parties du fond de l'œil observé elle pourrait éclairer. Le résultat est le même à cause de la réversibilité des processus optiques. En réalité, le champ est un peu plus grand que celui que nous avons trouvé par notre construction, puisque nous avons réduit la pupille de l'œil observateur à un point ; du point d, situé en dehors du champ, quelques rayons pourraient encore entrer dans l'œil observateur par les parties inférieures de sa pupille. Pour avoir le champ complet, il faudrait construire, non l'image p_1 du centre de la pupille p, mais l'image de toute la pupille ou plutôt du trou de l'ophtalmoscope, formée par le système optique de l'œil observé. On obtiendrait ainsi un champ plus grand, mais les parties près du bord seraient très peu éclairées.

90. Examen à l'image droite. Observations. — Pour indiquer la grandeur des objets intra-oculaires, on a l'habitude de les comparer au diamètre de la papille ; on dit ainsi que la largeur d'un staphylome est le quart ou la moitié du diamètre de la papille. Les essais qu'on a faits pour obtenir des mensurations plus exactes, au moyen d'un micromètre (*Donders*, *Leroy*), n'ont pas donné de résultats pratiques.

La réfraction est habituellement la même pour tout le fond de l'œil.

D'après *Young*, si l'on se figure une sphère tracée autour de l'œil avec la distance du remotum comme rayon, la position de la rétine est telle, qu'elle se trouve partout à l'endroit où se formeraient les meilleures images des objets situés sur cette sphère. Un certain degré d'astigmatisme par incidence est inévitable pour les parties périphériques ; mais la rétine se trouve ici entre les deux lignes focales, à peu près à l'endroit qui correspondrait à la tache de diffusion circulaire.

Grâce à cette disposition, on peut employer la papille pour la détermination de la réfraction à l'image droite ; en général, sa réfraction ne diffère guère de celle de la macula. Il y a pourtant des exceptions à cette règle. C'est ainsi qu'au conseil de revision j'ai examiné un jeune homme qui accusait une myopie de 4 D., tandis qu'un confrère très exercé dans la détermination à l'image droite et moi-même nous trouvions, à l'ophtalmoscope, de l'emmétropie, chacun de notre côté. Il fut plus tard mis hors de doute que le malade avait réellement une myopie de 4 D. Se demandant alors si la myopie ne serait pas attribuable à un spasme d'accommodation, on recourut à une cure d'atropine, mais sans résultat. Des différences analogues semblent assez fréquentes dans les cas de myopie excessive, à cause de la forme allongée du globe.

Une différence entre la réfraction subjective et la réfraction ophtalmoscopique peut donc être due : 1° à la distance plus grande du verre correcteur à l'œil observé dans le dernier cas (v. p. 177) ; 2° à ce qu'une hypermétropie latente devienne manifeste dans l'obscurité ; 3° à ce que la papille ait une autre réfraction que la macula ; 4° à de la simulation.

Pour juger de la profondeur d'une excavation papillaire, on peut mesurer la différence de réfraction entre le bord et le fond de l'excavation, en se rappelant qu'une différence d'une dioptrie correspond à peu près à un tiers de millimètre. On peut mesurer par le même procédé la tuméfaction de la papille dans les cas de névrite optique, la distance d'une opacité du corps vitré à la rétine, etc.

Un autre moyen de juger si un point est situé en avant d'un autre consiste à faire de petits mouvements de la tête (avec l'ophtalmoscope). On verra alors le point le plus rapproché faire un mouvement en sens inverse par rapport à l'autre point (*parallaxe*).

Le grossissement de 15 que nous avons trouvé pour l'image droite n'a rien à faire avec la grandeur apparente de la papille, qui dépend de la distance à laquelle on projette l'image sans le savoir. Lorsqu'on commence à faire de l'ophtalmoscopie, la papille paraît souvent très petite et, en général, sa grandeur semble varier pour les différents observateurs. J'ai remarqué un phénomène du même genre en regardant un point lumineux (v. p. 119). Si le point est très éloigné, le cercle de diffusion

me paraît très grand. Mais si j'observe un point lumineux placé au foyer d'une lentille de 20 D., que je tiens devant mon œil, le point me paraît extrêmement petit, et cela bien que l'image rétinienne doive être exactement la même dans les deux cas. On accuse souvent l'accommodation de jouer un rôle dans cette illusion d'optique, mais nous devons faire observer qu'elle a lieu même si on exclut toute trace d'accommodation ; elle repose sur une conclusion inconsciente relativement à la distance de l'objet (v. chapitre XXII).

La macula est habituellement difficile à voir : le plus souvent il faut dilater la pupille. La fovea est quelquefois visible comme une tache plus sombre avec un petit point blanchâtre au milieu ; sa place est en tout cas toujours marquée par la manière spéciale dont les vaisseaux viennent de tous les côtés se perdre dans ses environs. On ne voit jamais trace de la couleur jaune qui est si frappante dans l'œil mort ; aussi certains auteurs ont-ils, probablement à tort, considéré cette coloration jaune comme un phénomène cadavérique.

La couleur rouge du fond de l'œil est due aux vaisseaux de la choroïde ; partout où la choroïde fait défaut on voit le fond blanc de la sclérotique, dans les cas de colobome par exemple. Il est curieux qu'on ne voie jamais trace du pourpre rétinien à l'ophtalmoscope. A l'état normal, la rétine est complètement transparente, on n'en voit que les vaisseaux. Quelquefois on peut pourtant la distinguer comme un voile grisâtre dans les parties voisines de la papille. Si le pigment noir est fortement développé, le fond de l'œil apparaît d'un rouge foncé uniforme. S'il est peu développé, le fond a souvent un aspect marbré ou tigré, dû aux mailles du réseau vasculaire de la choroïde.

La plupart des yeux normaux possèdent une excavation physiologique de la papille, laquelle se présente comme une tache blanchâtre. Il est alors facile de voir, à l'image droite, que le fond est plus myope que le bord ; on voit indistinctement les vaisseaux de l'excavation quand ceux des bords paraissent nets et inversement, du moins lorsque l'excavation est un peu profonde. L'excavation physiologique n'atteint jamais les bords de la papille : on ne peut être sûr qu'une excavation soit pathologique que si elle atteint partout les bords.

On aperçoit souvent dans l'œil normal une *pulsation d'une ou de plusieurs des grandes veines*. Pendant la systole, la tension du globe augmente assez pour comprimer les grandes veines près de leur sortie, là où la tension intraveineuse est la plus faible. Au moment de la diastole, la tension du globe diminue, la pression cesse et les veines se vident.

La *pulsation des artères* est presque toujours un signe de glaucome ;

le grossissement est le même, quelle que soit la réfraction de l'œil examiné (principe de *Badal*) (1).

Si la lentille se trouve plus près de l'œil, comme c'est le plus souvent

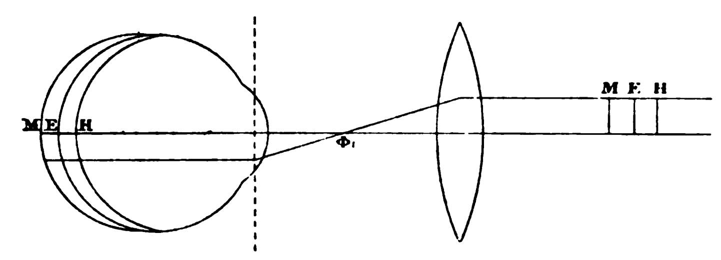


Fig. 133. — D'après *Bjerrum*.

le cas, le grossissement est plus fort dans l'œil hypermétrope, plus faible dans l'œil myope (fig. 134). Pour cette raison, la papille de l'œil astigmate est vue allongée dans la direction du méridien le moins réfringent;

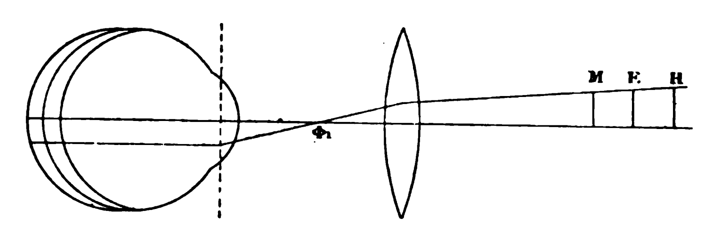


Fig. 134. — D'après *Bjerrum*.

en éloignant la lentille, l'autre méridien s'allonge, et l'on finit par voir plus grand celui qui correspond au méridien le plus réfringent comme à l'image droite.

Champ ophtalmoscopique. — Pour que le champ soit aussi grand que possible, il faut que la lentille se trouve à une distance de l'œil à peu près égale à sa distance focale. Dans ces circonstances, l'image que forme la lentille de la pupille de l'œil observé est très grande et remplit toute la lentille; l'iris disparaît du champ.

On construit le champ comme pour l'image droite, en supposant le centre (P, fig. 135) de la pupille de l'œil observateur lumineux et en cherchant quelle partie du fond de l'œil il pourrait éclairer. En dessinant la

(1) Ceci n'est exact que si l'amétropie est axile. S'il s'agit d'une myopie (hypermétropie) de courbure, le foyer antérieur est situé d'autant plus près de l'œil que la réfraction est plus forte. — En répétant la construction de la figure 133, on voit qu'en faisant coïncider le foyer de la lentille avec le foyer antérieur de l'œil le grossissement est plus fort dans le cas de myopie. — L'œil astigmate a deux foyers antérieurs, un pour chaque méridien principal : pour obtenir le même grossissement dans les deux méridiens, il faut que le foyer de la lentille se trouve plus près de l'œil que le foyer antérieur le plus éloigné.

figure 135, j'ai supposé que l'image P_1 du centre de la pupille de l'observateur coïncide avec le point nodal K de l'œil observé, de sorte que les « rayons » A*a* et B*b* ne subissent aucune réfraction : *ab* est donc le champ, et on remarque qu'il ne dépend pas de la pupille de l'observé, puisque le cône AP_1B ne touche pas à ses bords. Le champ n'est limité que par les bords de la lentille ; il est donc préférable d'employer une grande lentille, comme on le fait en Angleterre Si l'on rapproche ou si l'on éloigne la lentille, de façon qu'une partie plus large du cône AP_1B coïncide avec la pupille, il peut arriver que celle-ci soit trop petite, de sorte que l'iris enlève les rayons les plus périphériques. Le champ est alors

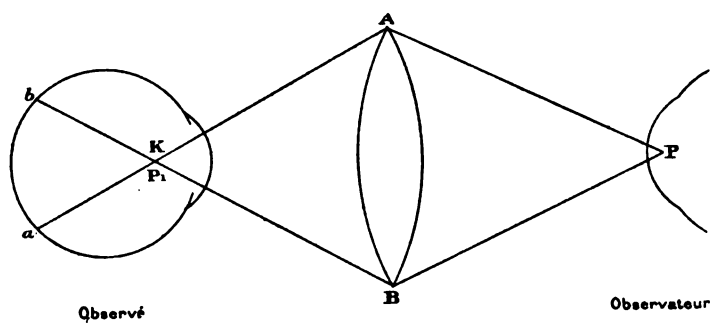


Fig. 135. — Construction du champ ophtalmoscopique à l'image renversée.

limité par l'iris de l'observé, qu'on aperçoit à travers la lentille. Si la pupille est petite, il peut être difficile de tenir la lentille exactement à l'endroit convenable pour que l'iris disparaisse ; c'est pourquoi il y a avantage à dilater la pupille. — Il est à remarquer, d'ailleurs, qu'une faible partie du champ est bien éclairée. Si l'on emploie un miroir concave de 20 centimètres de foyer, comme c'est l'usage, on voit au fond de l'œil une image assez nette de la flamme (parce que l'image formée par le miroir se trouve à peu près au foyer de la lentille, de sorte que les rayons qui rencontrent l'œil sont à peu près parallèles) ; ce n'est que la partie du champ qui correspond à cette image qui est éclairée, le reste se trouve dans l'obscurité. — On peut augmenter la partie éclairée en employant un miroir plan, mais l'éclairage est alors moins vif.

On peut voir l'image renversée sans aucune lentille, si le malade est myope de plus de 6 D. ; en déplaçant la tête d'un côté à l'autre, on s'assure que les vaisseaux se déplacent en sens inverse, car on peut aussi voir le fond de l'œil hypermétrope (à l'image droite), à une distance assez grande. Le champ visuel est très petit et le grossissement souvent si fort, qu'un vaisseau peut remplir la moitié du champ. L'existence de cette image suffit pour poser le diagnostic d'une forte myopie. — Il est souvent difficile d'examiner les forts degrés de myopie à l'image droite et à

l'image renversée le grossissement n'est quelquefois pas suffisant. On peut alors employer cette image que l'œil myope produit lui-même, en l'agrandissant ; on ne change rien à la manière ordinaire d'examiner à l'image renversée, il faut seulement éloigner assez la lentille pour que l'image vienne se former entre la lentille et l'œil observé. La lentille produit alors de cette image renversée une image virtuelle agrandie, qui est également renversée et située plus loin en arrière ; pour la voir nettement, il faut souvent se mettre très près de la lentille, surtout si l'on emploie un verre convexe derrière le miroir. On peut ainsi obtenir un grossissement presque aussi fort qu'à l'image droite (*Demicheri*).

On peut employer l'examen à l'image renversée pour la détermination de la réfraction de l'œil, en mesurant la distance de l'œil observé à laquelle est située l'image renversée, puisque cette distance varie avec la réfraction de l'œil. Cette méthode, qui a été proposée par *Schmidt-Rimpler*, n'a jamais été très répandue.

L'aspect du fond de l'œil est à peu près le même avec les deux méthodes. Il faut pourtant excepter la macula qui, à l'image renversée, se présente souvent sous une forme spéciale, comme une tache ovale, au grand diamètre horizontal, un peu plus grande que la papille ; cette tache est mate, un peu plus sombre que le reste, et entourée d'un cercle brillant, correspondant à la convexité du bord de la fovea, qui agit comme une sorte de miroir convexe. Des reflets analogues apparaissent souvent aussi sur d'autres parties de la rétine, surtout chez des sujets jeunes. — Des différences de niveau s'observent par le déplacement parallactique qu'on obtient en imprimant à la lentille un petit mouvement de va-et-vient.

92. Examen ophtalmoscopique des milieux réfringents. — Pour examiner la transparence des milieux réfringents, il est préférable d'employer un éclairage faible ; on se sert de préférence du miroir plan, ou même d'un miroir convexe. *De Wecker* a recommandé d'employer les plaques de *v. Helmholtz* pour cet examen. On voit en effet les ombres que produisent les opacités en interceptant une partie des rayons renvoyés par le fond de l'œil. Si le fond de l'œil est fortement éclairé et que les obstacles ne soient pas complètement opaques, ils laissent passer une partie de la lumière et l'ombre est moins complète. — Il est utile d'employer une forte loupe pour cet examen, afin de pouvoir se mettre très près de l'œil. Autrement, beaucoup de petits corpuscules peuvent échapper à l'examen.

Il est assez rare que ces opacités soient visibles par la lumière qu'elles réfléchissent elles-mêmes. Il peut pourtant arriver qu'on puisse voir la couleur rouge d'hémorragies situées très en avant dans le corps vitré.

ou la couleur blanche de certaines opacités, surtout en employant la méthode de la lumière à incidence rasant la tête de l'observateur. — Dans les cas de synchysis étincelant, l'œil observateur reçoit de la lumière réfléchie régulièrement par les surfaces des petits cristaux situés dans le corps vitré.

93. Skiascopie. — Cette manière d'examiner la réfraction oculaire a été découverte par *Cuignet*, qui l'a décrite sous le nom mal choisi de kératoscopie. C'est surtout *Parent* qui a développé la méthode, et c'est lui qui en a le premier donné l'explication correcte.

L'observateur se place à 1 mètre du malade, dont il éclaire l'œil avec un miroir plan ; en tournant le miroir autour d'un axe vertical, on voit la tache lumineuse sur la figure du malade se mouvoir dans la même direction. L'éclairage de la pupille suit le même chemin, si le malade est hypermétrope, emmétrope ou très faiblement myope. — Si la myopie est supérieure à 1 D., la lumière pupillaire se déplace en sens inverse, et si la myopie est égale à 1 D., on ne voit pas la lumière se mouvoir dans la pupille. L'éclat diminue uniformément dans toute l'étendue de la pupille, pour disparaître d'un coup.

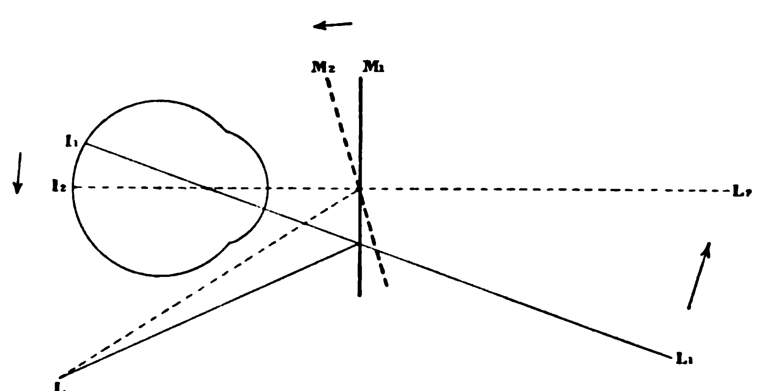


Fig. 136. — Skiascopie. Miroir plan.

L, lampe ; M_1, première position du miroir ; L_1, l'image qu'il forme de la lampe ; I_1, image rétinienne. — M_2, deuxième position du miroir ; L_2, image de la lampe ; I_2, image rétinienne.

L'examen de la figure 136 montre que l'image rétinienne se meut dans la même direction que le miroir. Si l'observé est hypermétrope, emmétrope ou myope $<$ 1 D., c'est l'image droite que l'observateur voit ; la lumière lui semble se mouvoir sur la rétine, comme elle le fait en réalité. Si au contraire la myopie est $>$ 1 D., il voit la lumière se mouvoir en sens contraire, parce que la lumière lui vient de l'image renversée qu'il observe. — Pour déterminer le degré de l'amétropie, on met devant l'œil du malade des verres de plus en plus forts, jusqu'à ce que l'ombre

vienne couvrir toute la pupille à la fois; le malade a alors une myopie égale à 1 D.

Si l'on emploie un miroir concave, on voit, comme dans le cas précédent, la tache lumineuse se mouvoir sur la figure du malade dans le même sens que le miroir. Mais l'image rétinienne de la flamme va en sens contraire : on voit, en effet, sur la figure 137 que l'image de la flamme (L_1, L_2), formée par le miroir, va en sens contraire de celle de la

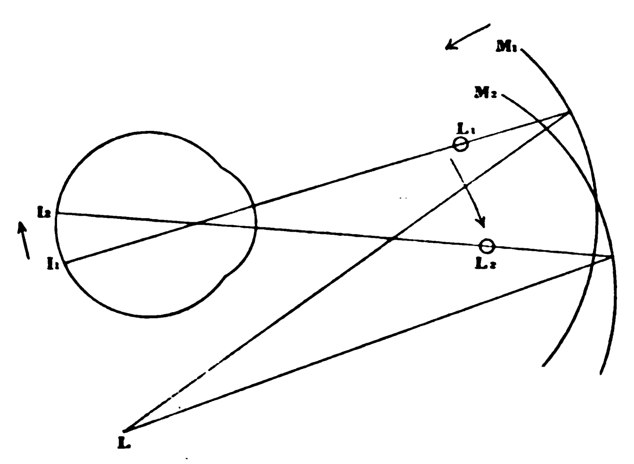


Fig. 137. — Skiascopie. Miroir concave.
Les lettres ont la même signification que dans la figure 136.

figure 136, d'où il suit qu'il en est de même pour l'image rétinienne. Aussi l'observateur voit-il la lueur oculaire se mouvoir en sens inverse si l'observé est emmétrope, hypermétrope ou myope < 1 D, et dans le même sens si la myopie > 1 D.

La skiascopie a de l'importance pour la recherche de l'astigmatisme, si l'on ne dispose pas d'un ophtalmomètre. Si l'on meut le miroir dans la direction d'un des méridiens principaux, le tout se passe comme sur un œil non astigmate. Mais, si les mouvements du miroir ont lieu dans un autre méridien, on voit l'ombre se mouvoir dans une direction qui fait un angle avec celui du miroir. Cela tient à la forme elliptique de la tache de diffusion. Si l'on dessine une ellipse à axes obliques sur une feuille de papier et qu'on l'observe à travers une ouverture circulaire plus petite, pendant qu'on lui imprime un mouvement horizontal, il est presque impossible de ne pas céder à l'illusion que le mouvement se fait dans une direction oblique. — On cherche alors le mouvement à donner au miroir pour que le déplacement de la lueur oculaire se fasse parallèlement à celui du miroir. On détermine ensuite la réfraction des méridiens principaux de la manière ordinaire.

Lorsque l'amétropie est forte, la lueur est assez faible et la limite entre

la lueur et l'ombre est courbe. Si, au contraire, l'œil est près d'être corrigé, on voit la lueur très brillante et son bord est à peu près droit.

L'explication de ce fait, qui a donné lieu à une discussion assez vive, est assez simple. Comme la lampe (ou son image formée par le miroir) est loin de l'observé, il se forme dans l'œil emmétrope une petite image rétinienne assez nette de la flamme (fig. 138, A). Comme toute la lumière est concentrée sur cette petite image, elle est assez vive et, bien qu'elle soit petite, elle remplit pourtant le champ, parce que celui-ci est également très petit, ainsi qu'il est facile de le voir en employant la construction que nous avons donnée pour le champ ophtalmoscopique. Le bord droit

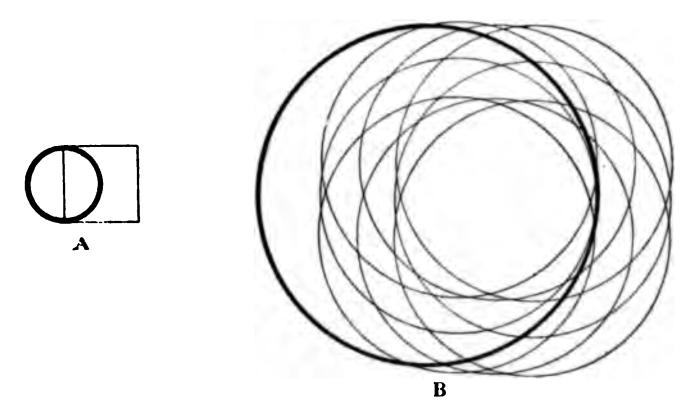


Fig. 138. — Le cercle épais indique les limites du champ skiascopique : A, dans un œil emmétrope ; B, dans un œil fortement amétrope. Le carré en A représente l'image de la flamme : en B, elle change dans la grande tache composée de cercles de diffusion.

de la lueur oculaire correspond au bord de l'image rétinienne de la flamme. Dans l'œil amétrope le champ est grand, et l'image rétinienne est remplacée par une tache de diffusion, bien plus grande et par conséquent moins brillante. Chaque point de l'image rétinienne nette est remplacé par un cercle de diffusion de même forme que la pupille de l'œil observé ; comme celle-ci est en général ronde, la tache affecte aussi une forme ronde (fig. 138, B), d'autant plus prononcée que l'amétropie est grande. Il est facile de prouver l'exactitude de cette explication : si l'on emploie comme source lumineuse une ligne brillante très longue, le bord de la lueur oculaire reste droit, même dans le cas de forte amétropie, parce que la superposition des cercles de diffusion ne peut pas alors produire une forme ronde. De même, si on donne à la pupille une forme triangulaire, en plaçant un trou sténopéique de cette forme devant l'œil de l'observé, l'ombre garde aussi son bord rectiligne, car la superposition de taches de diffusion triangulaires ne peut pas donner une forme ronde à la tache de diffusion.

Mais, ni dans l'un ni dans l'autre cas, l'observateur ne voit une image nette, parce que son œil est accommodé pour le plan pupillaire de l'observé, tandis que l'image qu'il observe se trouve en avant (M) ou en arrière (H) de ce plan. Et, comme il n'est pas au point pour l'image, celle-ci est vue vaguement, chaque point étant représenté par un cercle de diffusion dont le bord, comme toujours, correspond au bord de la pupille de l'observateur.

Théorie de Leroy. — L'explication que *Leroy* a donnée de la skiascopie, et qui s'est beaucoup répandue, surtout en Allemagne, concorde au

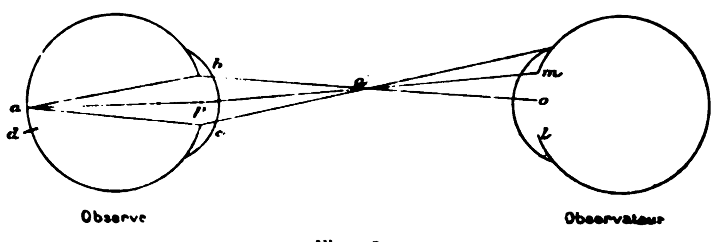


Fig. 139.

fond avec celle de *Parent* que je viens d'exposer. Soit *a* (fig. 139) un point éclairé de la rétine de l'œil observé, supposé myope, et *a'* son image. De l'œil observé sort alors le cône lumineux *ba'c*, dont la partie *a'mo* entre dans l'œil observateur. Cet œil voit lumineuse la partie de la pupille

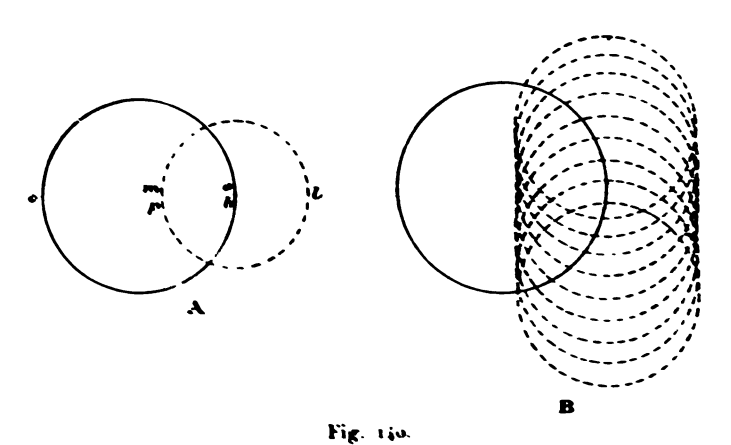


Fig. 140.

qui lui envoie des rayons, c'est la partie *bp*, tandis que *pc* est obscure parce que les rayons qui proviennent de cette partie sont arrêtés par l'iris de l'observateur. C'est ce que *Leroy* exprime d'une manière un peu subtile, en disant que l'ombre est produite par l'iris de l'observateur. On peut se figurer la pupille de l'observateur projetée par *a'* sur la pupille de l'observé (fig. 140, A) : la partie de cette dernière qu'elle cou-

vrirait paraîtrait lumineuse. Avec la théorie de Parent, on dirait que l'observateur voit le point *a* mais flou, c'est-à-dire comme un cercle de diffusion dont le bord, comme on le sait, correspond au bord de la pupille de l'observé.

Les deux théories sont donc deux manières différentes de dire la même chose. Mais, si l'on a voulu expliquer la forme courbe de l'ombre par la forme de la pupille de l'observateur, on a eu tort, car les phénomènes ne changent pas si l'observateur regarde à travers une ouverture triangulaire placée devant sa pupille. La forme de la pupille de l'observateur ne joue aucun rôle, car en réalité ce n'est pas un point lumineux qui se trouve sur la rétine, ainsi que le suppose la théorie de Leroy, mais une image de la flamme dont *ad* (fig. 139) est une section ; le bord de l'image dont nous nous servons est donc une droite perpendiculaire au plan du papier, et il faudrait répéter la construction de Leroy pour chaque point de cette droite. On obtiendrait ainsi une série de projections de la pupille de l'observateur, laquelle découperait la partie de la pupille de l'observé qui paraît lumineuse (fig. 140 B.). Il est facile de voir que la forme de chaque cercle de diffusion n'a aucune influence sur la forme du bord de l'ombre.

Ombre paracentrale. — Quand on est près de la correction, on voit souvent l'ombre se mouvoir irrégulièrement. *Bitzos* a décrit une ombre paracentrale : une partie de la pupille, près du milieu, paraît sombre,

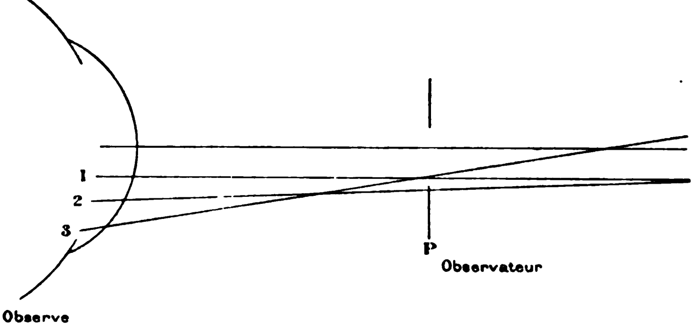


Fig. 141. — Théorie de l'ombre paracentrale.

tandis que les bords sont encore éclairés. Ce phénomène indique que la réfraction n'est pas la même partout dans la pupille ; il rend souvent impossible une détermination très exacte de la réfraction.

Il ne faut donc pas s'attendre à une détermination très exacte par la skiascopie, comme c'est aussi le cas pour la mensuration subjective et pour la détermination à l'image droite, tout simplement parce que l'idée même de la réfracton oculaire ne comporte pas une exactitude très grande.

Voici l'explication de l'ombre paracentrale. Admettons un œil emmétrope, mais ayant une forte aberration de sphéricité, de telle sorte que les parties périphériques de la pupille soient myopes. Les rayons provenant d'un point lumineux de la rétine auraient alors les directions indiquées sur la figure 141. Un œil dont la pupille se trouverait en P, recevrait les rayons 1 et 3 et verrait lumineuses les parties correspondantes de la pupille, tandis qu'en 2 la pupille paraîtrait sombre, puisque le rayon 2 n'entrerait pas dans la pupille. L'œil observateur verrait donc un centre brillant, séparé des bords également brillants par un anneau sombre. Si P se déplaçait un peu en bas, il recevrait tous les rayons dessinés sur la figure, mais quelques-uns de l'autre moitié n'y entreraient pas, ce qui donnerait le phénomène d'ombre paracentrale. Si l'œil est régulier, il faut donc qu'il regarde un peu obliquement pour montrer l'ombre paracentrale, et on doit pouvoir trouver des yeux qui, dans une certaine position, donnent une ombre annulaire, au moins si l'on emploie une source lumineuse suffisamment petite.

Bibliographie. — Cumming (W.). *Medico-chirurgical transactions.* XXIX, p. 284. — Bruecke (E.). *J. Müllers Archiv fur Anatomie und Physiologie*, 1847, p. 225. — Helmholtz (H.). *Beschreibung eines Augenspiegels zur Beobachtung der Netzhaut am lebenden Auge.* Berlin 1851. — Ruete (Th.). *Der Augenspiegel und das Optometer.* Gœttingen, 1852. — Coccius (A.). *Ueber die Anwendung des Augenspiegels, nebst Angabe eines neuen Instruments.* Leipzig, 1853. — Cuignet. *Keratoscopie.* Recueil d'opht. 1873-74. — Parent. *Diagnostic et détermination objective de l'Astigmatisme.* Recueil d'opht. 1881. — Leroy (C. J. A.). *Le phénomène de l'ombre pupillaire.* Rev. gen. d'opht. 1887, p. 289. — Bellarminoff. *Neues Verfahren den Augenhintergrund zu besichtigen.* Münch. med. Wochenschrift. 1888. — Bitzos (G). *La Skiascopie.* Paris, 1892. — Demicheri (L.). *Examen ophtalmoscopique à l'image renversée sur les yeux fortement myopes.* Ann. d'oc. 1895.

La théorie de l'ophtalmoscope se trouve exposée dans plusieurs des traités d'ophtalmoscopie. Le petit livre suivant est recommandable à cause de sa précision et de sa clarté :

Bjerrum (I.) (de Copenhague). *Instructions pour l'emploi de l'ophtalmoscope.* Trad. par *Grosjean.* Paris, Steinheil, 1894.

CHAPITRE XIV

LA PUPILLE

94. — Outre la position et la force des surfaces réfringentes, pour bien comprendre le fonctionnement d'un appareil dioptrique, il est nécessaire de connaître la grandeur et la position de son diaphragme. J'ai déjà fait ressortir la différence entre la grandeur et la position de la pupille apparente et de la pupille réelle, et j'ai fait remarquer que la pupille est le plus souvent déplacée un peu du côté temporal. Sa grandeur varie chez les différentes personnes; en général, elle diminue avec l'âge, et finit par être assez petite chez les vieillards. Le plus souvent, elle est plus grande chez les myopes que chez les hypermétropes, au moins en apparence, car les myopes ont souvent la chambre antérieure plus profonde, ce qui fait paraître la pupille plus grande. Dans les cas d'amaurose complète, la pupille est immobile et très large, excepté lorsque l'amaurose a une origine spinale, cas dans lequel la pupille est souvent fortement contractée.

La pupille se contracte et se dilate sous beaucoup d'influences différentes; ces mouvements sont très complexes et, pour la plupart, encore peu élucidés. Tout le monde est d'accord sur l'existence du sphincter, tandis que celle du dilatateur est contestée, quoique probable d'après les observations physiologiques. Les mouvements de la pupille sont sous l'influence du moteur oculaire commun et du grand sympathique. Une section du moteur oculaire commun produit une dilatation de la pupille, mais bien moins forte que celle qu'on peut produire avec de l'atropine. Les contractions qui accompagnent l'accommodation et l'incidence de la lumière cessent en même temps, ainsi que l'accommodation même. La contraction qui accompagne l'incidence de la lumière est donc produite par une action réflexe entre la rétine et le nerf optique d'un côté, et le moteur oculaire commun de l'autre. Il est pourtant à remarquer que *Brown-Séquard* a produit une contraction de la pupille, en

concentrant de la lumière sur l'iris d'un œil de lapin énucléé, expérience d'après laquelle la lumière aurait aussi une influence directe sur les muscles de l'iris. Une irritation du moteur oculaire commun produit une contraction de la pupille, une irritation du grand sympathique au cou produit au contraire une forte dilatation, tandis que la section de ce nerf contracte la pupille.

95. Action des mydriatiques et des myotiques. — L'instillation d'une goutte d'une solution d'*atropine* au 200e produit une forte dilatation de la pupille; elle paralyse ses mouvements ainsi que l'accommodation : l'effet dure en général une huitaine de jours. Si l'on emploie une solution fortement diluée, l'effet dure moins longtemps et l'action sur l'accommodation est bien moins prononcée. Pour expliquer que la dilatation par atropine est bien plus forte que celle qu'on obtient en sectionnant le moteur oculaire commun, on a admis qu'elle agit en même temps en irritant les fibres terminales du grand sympathique (?).

L'*homatropine* au 200e dilate la pupille, mais n'agit en général pas beaucoup sur l'accommodation si la solution est pure (1). Son effet dure vingt-quatre heures.

La *cocaïne* au 20e dilate la pupille, mais n'agit pas sur l'accommodation ; au moins n'en ai-je pas pu constater d'effet sur mon œil (1).

Un mélange d'homatropine et de cocaïne dilate la pupille encore plus que chacun de ces alcaloïdes séparément. Un tel mélange se recommande donc pour les recherches sur l'accommodation, d'autant plus que la pupille se dilate quelque temps avant que l'accommodation commence à diminuer. La *scopolamine* (au 500e) produit une paralysie complète de l'accommodation, avec une très forte dilatation de la pupille, qu'on peut encore augmenter en ajoutant de la cocaïne.

Avec une solution d'*ésérine* (au 200e) on obtient une très forte contraction de la pupille, et l'accommodation atteint son maximum. J'ai obtenu avec de l'ésérine une amplitude un peu plus grande que celle que je peux produire spontanément. Il est douteux que l'ésérine agisse directement sur le sphincter ou que la contraction de la pupille soit analogue à celle qui accompagne toujours l'accommodation.

96. Les mouvements de la pupille.

1° *La pupille se contracte sous l'influence de la lumière* (réflexe par le nerf optique). Ce n'est pas seulement la lumière qui frappe la rétine du

(1) D'autres observateurs indiquent le contraire : les différences sont peut-être individuelles, peut-être dues à ce qu'on emploie des préparations différentes.

même œil, mais aussi celle qui entre dans l'autre œil, qui provoque la contraction. Les pupilles sont de grandeur égale, même si un œil est exposé à une lumière bien plus forte que l'autre. Si la pupille ne se contracte pas, lorsque la lumière frappe la rétine du même œil, mais bien lorsqu'elle frappe celle de l'autre œil, on peut conclure à une amaurose complète de l'œil en question. Dans l'obscurité complète, la pupille est dilatée au maximum, de sorte que l'iris n'est souvent pas visible (1) (*Cohn, Cl. Dubois-Reymond*). On a démontré ce fait en tirant des photographies d'yeux dans l'obscurité complète : on les éclaire avec un mélange de poudres dont l'éclair dure trop peu pour que la pupille ait le temps de se contracter. Il n'est pas facile de concilier cette observation avec l'expérience journalière qui montre que la réaction de la pupille sur la lumière dépend du moteur oculaire commun, dont la section ne produit qu'une dilatation moyenne.

Il est évident que le but de cette contraction de la pupille est de régler la quantité de lumière qui entre dans l'œil.

2° *La pupille se contracte pendant l'accommodation.* — Pour examiner le fonctionnement de la pupille, il faut voir si elle se contracte : *a*) lorsque la lumière frappe la rétine du même œil ; *b*) lorsque la lumière frappe la rétine de l'autre œil ; *c*) lorsque le malade fait un effort d'accommodation. On sait que la contraction accommodative peut exister sans la réaction à la lumière et inversement (*Argyll Robertson*). La contraction accommodative se distingue en ce que même les parties les plus périphériques de l'iris montrent un mouvement centripète, ce qui n'est généralement pas le cas pour la réaction à la lumière (*Hueck*).

Le but de cette contraction est d'éliminer l'action des parties périphériques du cristallin, qui n'accommodent pas assez.

3° *La pupille se contracte lorsqu'on fait écouler l'humeur aqueuse.* — J'ai déjà fait remarquer que cette contraction s'observe aussi après la mort (*Arlt*), de sorte qu'elle doit être considérée comme un phénomène purement mécanique et qu'on peut l'identifier à la contraction accommodative. J'ai fait quelques expériences pour élucider la nature de cette contraction ; avant de les relater, il importe de parler de la chambre postérieure, dont l'existence a été très discutée.

En examinant un œil à l'éclairage oblique, on voit aisément que le bord de l'iris est en contact avec le cristallin. On le voit aussi très bien par l'examen avec la troisième image de *Purkinje*, que j'ai mentionnée p. 41,

---

(1) Si l'iris n'est pas visible du tout, c'est un phénomène apparent, dû à la réfraction à travers la cornée, car si l'on plonge un œil, dont la pupille est dilatée jusqu'à ce point, dans l'eau, l'iris devient tout de suite visible (*Stadfeldt*).

ou en examinant un œil atteint de cataracte mûre. Si on a enlevé le cristallin de l'œil ou s'il est luxé, l'iris affecte à chaque mouvement de l'œil le tremblement connu sous le nom d'*iridodonesis*; *v. Helmholtz* et d'autres ont voulu conclure de ces faits à la non-existence d'une chambre postérieure ; il existe néanmoins un petit espace rempli de liquide entre le cristallin, le corps ciliaire et les parties périphériques de l'iris. On voit quelquefois dans les yeux intacts un léger tremblement des parties périphériques de l'iris, lorsque l'œil fait un mouvement.

L'observation d'*Arlt*, d'après laquelle on voit encore la contraction pupillaire lorsqu'on fait la paracentèse sur un œil mort, m'avait beaucoup frappé. Pour la vérifier, j'ai introduit la pointe d'une seringue de *Pravaz* dans la chambre antérieure; en poussant ou en retirant le piston, on peut faire contracter ou dilater la pupille à volonté. En retirant presque tout le contenu de la chambre antérieure, j'ai pu réduire le diamètre de la pupille à 1 à 2 millimètres; au contraire, en poussant l'injection aussi loin que possible, la dilatation peut aller jusqu'à faire disparaître l'iris (1). Il est vrai qu'une partie seule de cette modification est apparente, comme M. *Stadfeldt* l'a montré : plus la pupille recule, plus elle est vue agrandie par la cornée; mais, même en examinant l'œil sous l'eau, on trouve un changement très notable. Le phénomène est malaisé à expliquer; il ne s'agit pas d'un simple effet de pression, car on peut comprimer l'œil tant qu'on veut, on n'observe pas de changement du diamètre de la pupille; ce n'est pas non plus une différence de pression entre la chambre et la partie postérieure du globe, car en injectant du liquide dans le corps vitré, ou en en retirant, on ne produit pas non plus aucun changement de la pupille.

J'ai aussi injecté une solution de gélatine dans la chambre antérieure, et, en durcissant ensuite un peu les yeux, j'en ai obtenu d'assez bons moules. Dans ces circonstances, la chambre postérieure s'injecte également toujours ; le moule forme un anneau prismatique avec une surface antérieure correspondant à l'iris, une surface postérieure correspondant à la cristalloïde antérieure et une surface extérieure correspondant au corps ciliaire. Mais, entre le cristallin et la partie de l'iris voisine de la pupille, on ne trouve jamais de la gélatine ou, s'il y en a, c'est une couche si mince, qu'elle s'abîme par la préparation.

4° Pendant le sommeil, la pupille est fortement contractée, même chez des personnes amaurotiques, dont la pupille en général est large et immobile. La pupille est également contractée pendant la narcose et le plus

(1) Lorsqu'on augmente beaucoup la pression, la cornée devient opaque; on peut la rendre presque aussi blanche que la sclérotique; aussitôt que la pression cesse, elle reprend sa transparence.

souvent pendant l'agonie : au moment de la mort, elle se dilate en général fortement; cette dilatation disparaît aussitôt. Malgré la contraction pupillaire pendant le sommeil, la réaction à la lumière persiste.

5° En examinant la pupille avec une loupe, on observe des contractions rythmiques qui, au moins en partie, correspondent à la systole et qui sont dues à ce que les vaisseaux se remplissent de sang. La contraction est plus forte lorsque la systole coïncide avec une expiration. On ne peut pas expliquer de cette manière toutes les petites contractions de la pupille qu'on observe avec une loupe.

6° On observe une dilatation de la pupille à la suite d'une frayeur ; elle accompagne également la dyspnée, une vigoureuse action musculaire ou une irritation vive d'un nerf sensitif quelconque.

97. Avantage de la position de la pupille près du point nodal. — *Young* a fait remarquer que, si la pupille avait été située plus en avant dans l'œil, la grandeur apparente des objets aurait changé chaque fois qu'on fait un effort d'accommodation. Nous avons vu que l'image d'un

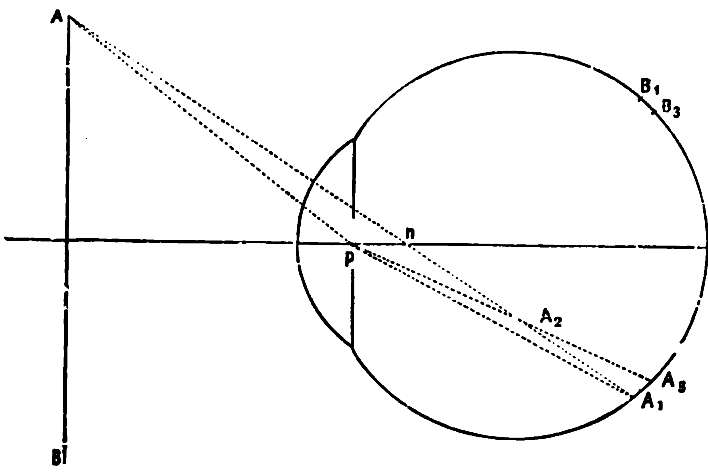


Fig. 142.

point pour lequel l'œil n'est pas accommodé forme un cercle de diffusion, dont le centre, qui correspond au milieu de la pupille, est souvent plus brillant, à cause de l'aberration de sphéricité; si la pupille n'est pas trop grande, on peut considérer ce centre comme une image vague du point. Admettons qu'en état de repos l'œil soit au point pour l'objet AB (fig. 142). L'image du point A se forme en A_1 sur la ligne A*n* passant par le point nodal. En accommodant, l'image s'avance jusqu'en A_2. Pour trouver l'endroit où se forme l'image diffuse sur la rétine, nous traçons le rayon A*p* passant par le milieu de la pupille d'entrée : après réfraction, ce rayon

doit passer par p_1 (1), le milieu de la pupille de sortie, et par A_2 ; l'image diffuse se forme donc en A_3 et l'image de tout l'objet $A_3 B_3$ est plus petite que l'image nette $A_1 B_1$. Dans l'œil humain on peut observer un léger effet de ce genre, en accommodant pendant qu'on observe des objets éloignés ; il est plus prononcé lorsqu'on remplace la pupille par un trou sténopéïque, à quelque distance de l'œil.

La position de la pupille près du point nodal a probablement encore un autre avantage. Une des premières qualités qu'on demande à un objectif photographique est d'être *rectiligne*, c'est-à-dire que les images de lignes droites placées périphériquement dans le champ soient droites et non courbes. On obtient habituellement cet effet en plaçant le diaphragme dans le plan nodal, et la position de la pupille près du point nodal de l'œil semble devoir jouer un rôle pour la vision correcte des objets vus indirectement.

Néanmoins, l'œil n'est pas rectiligne. Il résulte d'une série d'expériences indiquées par *v. Helmholtz* qu'en vision indirecte les lignes droites apparaissent suivant des courbes, dont la concavité est tournée vers le point fixé. Si l'on veut répéter ces expériences, il faut se placer de façon qu'aucune autre ligne, que l'on sait droite, ne se trouve dans le champ, par exemple en se baissant au-dessus d'une grande table.

B

A D

C

Fig. 143.

1° On place sur la table un petit morceau de papier A (fig. 143) qui sert de point de fixation, et deux autres, B et C, aussi loin que possible de A, sans cesser de les voir distinctement en vision indirecte. Tout en fixant A, on essaie de placer un quatrième morceau D sur la droite qui joint B et C. On le placera presque toujours trop en dedans.

2° Si on place sur la table une bande de papier à bords parallèles, large de 8 à 10 centimètres, et qu'on en fixe le milieu, les bords paraissent concaves vers le point de fixation. La bande paraît donc plus large au milieu que vers les extrémités.

3° Guidé par des considérations théoriques dont la valeur peut paraître douteuse, *v. Helmholtz* dessina le damier hyperbolique dont la figure 144 est une représentation diminuée dans le rapport de $\frac{3}{16}$. D'accord avec sa théorie, il trouva que, placé à la distance de 20 centimètres pour laquelle

(1) [illegible] se trouvent à environ 0,7 millimètres l'un de l'autre.

le damier était calculé, il voyait les courbes suivant l'apparence de lignes droites, lorsqu'il fixait le milieu. Quand il se plaçait à une distance plus grande, les lignes paraissaient avoir la courbure qu'elles ont en réalité; en se rapprochant de plus en plus, il voyait la courbure diminuer, pour finir par s'effacer complètement. La distance à laquelle la courbure s'effaçait était chaque fois presque exactement de 20 centimètres. S'il se



Fig. 144. — Damier hyperbolique de *v. Helmholtz*.

rapprochait encore plus, les lignes présentaient la courbure inverse, elles paraissaient concaves vers le milieu.

4° Une autre expérience du même genre consiste à placer un carton circulaire dans la périphérie du champ visuel : en bas ou en haut, on le voit allongé dans le sens horizontal, des deux côtés il paraît allongé dans le sens vertical.

On peut exprimer tous ces phénomènes en disant que le champ visuel est vu rétréci vers la périphérie. Figurons-nous le champ visuel plan divisé en zones équidistantes, et admettons que nous en donnions une représentation en faisant diminuer les zones vers la périphérie. On obtiendrait ainsi des déformations analogues; des lignes droites seraient représentées par des courbes concaves vers le milieu (v. p. 93). Un cercle placé périphériquement dans le champ se rétrécirait dans la direction radiaire et ainsi de suite.

Pour expliquer ses observations, *v. Helmholtz* attira l'attention sur une autre observation qu'il avait faite et qui est, elle, une conséquence de la loi de *Listing* (v. chapitre XIX).

Placé devant un mur on regarde un point A situé à la hauteur des yeux; on lève ensuite le regard, sans changer la position de la tête, vers la ligne horizontale qui forme la limite supérieure du mur. En promenant le regard rapidement le long de cette ligne, on la voit concave vers

le bas, absolument comme on la verrait en vision indirecte, en fixant le point A, si elle était assez distincte.

Fidèle aux théories *empiristiques*, par lesquelles il essayait d'expliquer la plupart des observations de l'optique physiologique, *v. Helmholtz* admit que cette illusion était la cause de la précédente. En parcourant la ligne avec le regard, elle paraît courbe, à cause de la loi de *Listing*, et c'est parce que nous avons ainsi appris qu'elle paraît courbe, qu'elle nous paraît telle aussi en vision indirecte. — Il est à remarquer que cette manière d'observer la ligne, en la parcourant avec le regard levé, paraît tout à fait insolite. Je ne pense pas qu'avant de faire cette expérience j'aie jamais regardé une ligne ainsi, tant il me serait plus naturel de lever la tête pour la parcourir, et dans ce cas l'illusion disparaît. Il n'est donc pas facile de comprendre comment j'aurais appris que la ligne doive paraître courbe.



Fig. 145.
Œil artificiel.

Mais l'expérience suivante est encore plus contraire à l'explication en question. Je me suis fait construire un petit œil artificiel (fig. 145) dont toutes les dimensions se rapprochent autant que possible de celles de l'œil humain. La cornée et le cristallin sont en verre et ont la même courbure que dans l'œil humain ; pour remédier un peu à la réfraction trop forte du cristallin, j'ai rempli l'œil d'un mélange de glycérine et d'eau, dont l'indice est un peu supérieur à celui du corps vitré. La rétine est remplacée par un hémisphère creux en verre dépoli, ayant à peu près la courbure de la rétine de l'œil humain. Quoique la réfraction ne soit pas absolument identique à celle de l'œil humain, la différence ne peut pourtant pas être très grande.

Avec cet œil j'ai répété et réussi toutes les expériences citées ci-dessus (fig. 146). L'image de la bande noire a des bords convexes vers la périphérie ; pour que les bords de l'image paraissent droits, il faut que ceux de l'objet soient concaves. L'image d'un cercle paraît raccourcie dans la direction radiaire, etc. L'expérience avec le damier de *v. Helmholtz* est encore plus concluante. Tant que l'œil se trouve à grande distance, l'image est pareille à l'objet ; mais, à mesure qu'on rapproche l'œil, la courbure des lignes s'efface, et, très près du dessin, les lignes de l'image paraissent concaves en dedans. J'ai essayé de déterminer l'endroit où le sens de la courbure change ou, autrement dit, l'endroit où la figure paraît le plus rectiligne, et chaque fois



Fig. 145. — Image d'une fenêtre dans l'œil artificiel.

j'ai trouvé une distance de 20 centimètres, au moins aussi exactement qu'en faisant l'expérience avec mon propre œil.

D'après cette expérience, il me semble hors de doute que toutes ces déformations dépendent en premier lieu de la forme de la rétine. En projetant un plan sur une sphère creuse, on obtient nécessairement vers la périphérie un rétrécissement de la projection analogue à celui que nous avons trouvé pour l'œil. Il est pourtant possible que la position de la pupille en avant du point nodal puisse jouer un certain rôle, car l'illusion me paraît plutôt plus prononcée si je regarde à travers un trou sténopéique, qui agit comme une pupille artificielle placée en avant de l'œil.

Ceci touche à une des questions fondamentales de l'optique physiologique. Je veux parler de l'opposition entre les idées *nativistiques* et les idées *empiristiques*. Quoique cette question sorte du cadre du présent travail, je m'y arrêterai un moment.

En regardant une fenêtre, le sens visuel me dit qu'elle est carrée. Comment l'œil peut-il donner ce renseignement? Les nativistes, parmi lesquels il faut en premier lieu citer *Hering*, disent que, par un mécanisme congénital inconnu, l'impression rétinienne donne directement à l'esprit l'idée de la forme de l'objet. On pourrait exprimer cette idée en disant que, par un mécanisme inconnu, l'esprit voit l'image rétinienne. Les empiristes, parmi lesquels *v. Helmholtz* est le plus célèbre, disent que l'image rétinienne ne nous donne en premier lieu aucun renseignement sur la forme de l'objet, ce n'est qu'un « signe » de l'objet, à peu près comme la lettre A est le signe d'un certain son ; par les mouvements des yeux et par les renseignements fournis par le toucher, nous apprenons que ce signe veut dire que l'objet est carré ; *v. Helmholtz* a exprimé ses idées ainsi : « Quant à moi, je crois probable que la figure, la forme et la position de la rétine véritable, ainsi que les déformations de l'image rétinienne, sont absolument indifférentes pour la vision, pourvu que l'image soit nette dans toute son étendue et que la forme de la rétine et celle de l'image restent sensiblement invariables d'un moment à l'autre. Nous n'avons absolument pas connaissance de l'existence de notre rétine. »

Sous l'influence de *Darwin*, on a essayé (*Donders*) de réconcilier les deux écoles en disant que les qualités en question sont le résultat d'expériences faites non par l'individu, mais par l'*espèce*. Prises dans ce sens, les idées empiristiques ne diffèrent guère des idées nativistiques, les qualités étant alors congénitales dans le même sens que, par exemple, la forme actuelle de nos organes, et il y aurait alors lieu de distinguer nettement entre ce qu'on peut supposer appris par l'individu même et ce qui est dû à l'expérience de l'*espèce*.

Les théories empiristiques sont plus séduisantes parce qu'elles constituent un essai d'explication, tandis que les théories nativistiques en excluent tout espoir. Mais il ne faudrait les appliquer qu'aux phénomènes auxquels elles s'adaptent sans difficultés, et il me semble que le grand physicien de Berlin est allé trop loin en voulant nier la relation entre les illusions décrites ici et les déformations de l'image rétinienne. Il me semble qu'il doit exister un mécanisme par lequel nous pouvons nous rendre compte de l'existence de ces déformations.

Bibliographie. — La lutte contre l'application trop large des idées empiristiques ne date pas d'hier. V. *Œuvres de Young*, p. 239. « Nous sommes certainement à chaque instant obligés d'appeler l'expérience en aide pour corriger les erreurs d'un des sens par la comparaison avec les perceptions des autres. [Mais] il me semble que certains savants se sont trop avancés en déclarant que l'usage de tous nos sens est dérivé de l'expérience seule sans vouloir admettre l'existence d'un instinct à côté d'elle, etc.

Arlt (F.). *Zur Anatomie des Auges*. Arch. f. Ophth. III, 2. — Du Bois-Reymond (Cl.). *Ueber Photographien der Augen bei Magnesiumblitz*. Arch. f. Physiologie, 1888, p. 394. — Tscherning (M.). *La contraction de l'iris accompagnant l'écoulement de l'humeur aqueuse*. Bull. de la Soc. franç. d'opht., 1885, p. 305. — Tscherning (M.). *Quelques conséquences de la loi de Listing*. Ann. d'oc. Sept. 1888. — Tscherning (M.). *La déformation des objets vus indirectement*. Bull. de la Soc. franç. d'opht. 1895, p. 403.

LIVRE II

FONCTIONS DE LA RÉTINE

CHAPITRE XV

CHANGEMENTS QUE SUBIT LA RÉTINE
SOUS L'INFUENCE DE LA LUMIÈRE

98. — La couche sensible de la rétine est, selon toute probabilité, celle des cônes et des bâtonnets. Outre que la structure même de la couche rend cette hypothèse probable, elle est encore fortifiée par les expériences et les mensurations de *Henri Müller* (sur la vision entoptique des vaisseaux, v. p. 145) ainsi que par les observations sur l'acuité visuelle. Mais on n'a pas réussi à expliquer d'une manière satisfaisante le mécanisme par lequel la lumière se transforme en action nerveuse. On a réussi à constater un certain nombre de changements que subit la rétine sous l'influence de la lumière, et on a étudié d'autre part les fonctions de la rétine, lesquelles sont maintenant très bien connues, mais on n'a pas réussi à expliquer leurs relations communes.

Pourpre rétinien. — Si l'on examine l'œil d'un animal qu'on a laissé dans l'obscurité pendant quelque temps avant l'énucléation, on trouve que le segment externe des bâtonnets a une couleur pourpre qui disparaît très vite sous l'influence de la lumière du jour, en passant par une teinte jaune. Les cônes n'ont pas cette coloration et la *fovea* de l'œil humain, qui n'est composée que de cônes, est incolore. Si l'on expose l'œil d'un lapin vivant à la lumière du jour pendant un quart d'heure, le pourpre se change d'abord en jaune et pâlit ensuite complètement. En le plaçant de façon que l'image d'un objet brillant, une fenêtre par exemple, puisse se former sur la rétine, on peut ainsi obtenir une image durable *(Opto-*

gramme). Si, après avoir fait pâlir le pourpre, on laisse l'animal dans l'obscurité, la couleur pourpre se reforme peu à peu, à la condition que la rétine soit en contact avec les cellules pigmentaires. Il n'est pas nécessaire que ce soient les cellules pigmentaires du même animal : si l'on met la rétine d'un œil à la place de celle d'un autre œil, la régénération se fait également dans l'obscurité.

La vision ne dépend pas du pourpre rétinien, puisqu'il n'y a pas de pourpre dans la fovea, puisque les lapins dont on a laissé la rétine pâlir complètement ne sont pas aveugles et puisqu'il y a certaines classes d'animaux, les serpents par exemple, chez lesquels le pourpre fait défaut.

Le pourpre rétinien fut découvert par *Boll* en 1876 ; à sa suite, *Kühne* travailla beaucoup la question, en étudiant surtout les propriétés chimiques du pourpre et du jaune rétinien. L'enthousiasme avec lequel on accueillit d'abord la découverte de Boll s'est vite refroidi, quand on a vu qu'elle ne donnait pas une explication directe du mécanisme de la vision. Depuis quelque temps, on a repris la question et essayé de mettre le pourpre rétinien en rapport, d'un côté avec la vision de certaines couleurs, d'un autre côté avec l'adaptation de la rétine à des lumières très faibles. Ces essais, dont quelques-uns seront mentionnés plus loin, n'ont, jusqu'à présent, qu'un caractère hypothétique.

99. Mouvements du pigment sous l'influence de la lumière. — En expérimentant avec des grenouilles, *Boll* a encore observé un autre phénomène dépendant de l'influence de la lumière. Il remarqua qu'il était facile de séparer la rétine de l'épithélium, quand les animaux sont restés dans l'obscurité pendant une heure ou deux avant la mort. Si l'animal a été exposé à la lumière pendant un certain temps avant l'énucléation, il est au contraire difficile de les séparer, et si l'on arrache la rétine, on la trouve couverte de taches de pigment noir qui y adhèrent. On sait que les cellules épithéliales envoient des prolongements entre les bâtonnets qu'ils séparent les uns des autres. Dans l'obscurité, le pigment se trouve ramassé entre les segments extérieurs des bâtonnets, mais, sous l'influence de la lumière, il se déplace de manière à couvrir la surface terminale du bâtonnet et à s'avancer entre les bâtonnets, quelquefois même jusqu'à la membrane limitante externe. Le segment extérieur du bâtonnet se gonfle en même temps. On a décrit des phénomènes analogues dans les yeux des oiseaux, des mammifères, et aussi dans un œil humain. Il n'y a pas longtemps (1889), v. *Genderen Stort* a observé que les parties internes des cônes se gonflent sous l'influence de la lumière, mais ce phénomène ne semble pas avoir de rapport avec la vision, puis-

qu'on obtient le même effet en laissant l'œil dans l'obscurité, si on laisse agir la lumière sur la rétine de l'autre œil ou simplement sur la peau de l'animal.

Remarquons encore que *Kuehne* a observé certains phénomènes galvaniques dépendant de l'action de la lumière sur la rétine.

Bibliographie. — Boll (F.). *Du Bois-Reymonds Archiv. f. Anat. u. Physiol.*, 1877, p. 4. — Boll (F.). *Monatsber. d. Akad.* Berlin, 1877. Jan. 11. — Kuehne (W.), dans Hermann (L.). *Handbuch der Physiologie*. Leipzig, 1879. — Van Genderen Stort. *Acad. d'Amsterdam*, 28 juin 1884.

CHAPITRE XVI

LE SENS LUMINEUX

Les fonctions de la rétine se divisent en trois catégories : le *sens lumineux*, le *sens chromatique* et la *faculté de pouvoir distinguer des formes*.

Le sens lumineux est la faculté de reconnaître les intensités lumineuses différentes.

100. Loi psychophysique de Fechner. — Suivant cette loi, *la plus petite différence d'éclairage sensible est une fraction constante* (environ 1 p. 100) *de l'éclairage total.*

Fechner a été amené à formuler sa loi par l'observation suivante. Un jour, il avait trouvé une différence d'éclat à peine sensible entre deux nuages et fut très étonné de voir cette différence persister en regardant à travers un verre fumé assez sombre. Il désigna cette loi sous le nom de *psychophysique*, parce que, la retrouvant aussi pour les autres sens, il fut amené à la considérer comme une loi générale de la perception. Si, par exemple, on a trouvé qu'il faut qu'une ligne ait une longueur de 105 millimètres pour qu'on puisse juger avec certitude qu'elle est plus longue qu'une autre de 100 millimètres, on trouvera aussi qu'il faut une ligne d'au moins 210 millimètres pour pouvoir avec certitude la juger plus longue qu'une autre de 200 millimètres. Dans les deux cas, le rapport entre la plus petite différence sensible et la longueur totale est le même, un vingtième. Il en est de même si l'on examine la plus petite différence sensible entre deux poids, et ainsi de suite.

On remarque que nos sens diffèrent en cela de la plupart de nos instruments. Avec un double décimètre ordinaire, la plus petite distance qu'on puisse *mesurer* (je ne dis pas juger) est d'un demi-millimètre, la plus petite différence mesurable entre deux lignes serait donc d'un demi-millimètre, et cela quelle que soit la longueur des lignes à mesurer.

Pour déterminer le rapport entre la plus petite différence d'éclairage

sensible et l'éclairage total, *Fechner* se servait de l'expérience suivante, qui avait déjà été indiquée au milieu du siècle dernier par *Bouguer* et par *Lambert.* Le premier avait même observé le fait sur lequel *Fechner* basait plus tard sa loi.

1° Plaçons à quelque distance d'un écran deux bougies, A et B (fig. 147), d'intensité égale I, et mettons entre les bougies et l'écran une baguette, de façon qu'elle forme deux ombres *a* et *b* sur l'écran. L'ombre *a* est formée par A, et par conséquent éclairée seulement

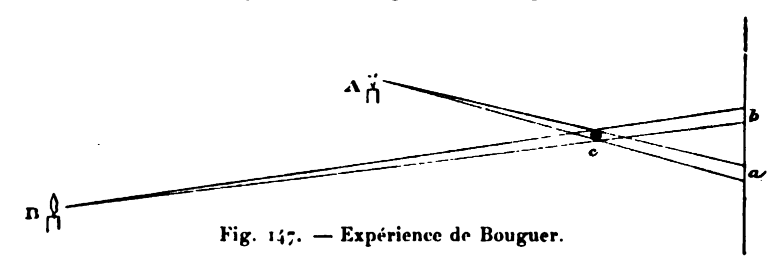


Fig. 147. — Expérience de Bouguer.

par B ; l'ombre *b* ne reçoit de la lumière que de A, et le reste de l'écran en reçoit en même temps de B et de A. En éloignant B de l'écran, l'ombre *b* devient de plus en plus faible, et lorsque la distance de B à l'écran est à peu près dix fois celle de A, elle cesse d'être visible.

2° On remplace les bougies par d'autres d'intensité moitié moindre, on répète l'expérience : on trouve, comme dans le cas précédent, que l'ombre cesse d'être visible au moment où la distance de B à l'écran est d'environ dix fois celle de A. — Et on trouvera la même chose, quelle que soit l'intensité qu'on donne aux bougies. — La loi de *Fechner* se trouve ainsi vérifiée.

Admettons que, dans le cas 1°, au moment où l'ombre disparaît, B se trouve à 500 centimètres de l'écran, A à 50 centimètres. On sait que l'éclairage est proportionnel à l'intensité de la source lumineuse et inversement proportionnel au carré de sa distance. A donne donc à l'écran un éclairage de $\frac{1}{50^2}$, B un éclairage de $\frac{1}{500^2}$, tandis que l'ombre *b* reçoit un éclairage de $\frac{1}{50_2}$ seulement. La différence entre l'éclairage de l'écran et celui de l'ombre est donc :

$$\left(\frac{1}{50^2} + \frac{1}{500^2}\right) - \frac{1}{50^2} = \frac{1}{500^2}$$

et le rapport entre cette différence et l'éclairage de l'écran est

$$\frac{\frac{1}{500^2}}{\frac{1}{50^2} + \frac{1}{500^2}} = \frac{1}{10^2 + 1} = \frac{1}{101}$$

ou $\frac{1}{100}$, puisque la mensuration n'est pas très exacte.

Dans le cas 2°, le rapport est

$$\frac{\frac{1/2\,I}{500^2}}{\frac{1/2\,I}{50^2}+\frac{1/2\,I}{500^2}}=\frac{1}{101}.$$

Il est par conséquent le même dans les deux cas.

La loi de *Fechner* explique beaucoup de phénomènes observés journellement. — Si, après avoir fait, avec les bougies, l'expérience citée ci-dessus, on ouvre les volets de façon que la lumière du jour vienne frapper l'écran, les ombres disparaissent. La différence entre l'éclairage de l'ombre et celui de l'écran reste la même, mais le rapport entre cette différence et l'éclairage total de l'écran est bien au-dessous de la fraction de *Fechner*. — On lit aussi bien le soir, avec un bec de gaz, que le jour, bien que l'éclairage du jour soit énormément plus fort, parce que le rapport entre la lumière réfléchie par le noir des lettres et celle réfléchie par le blanc du papier reste le même. — Dans une pièce éclairée par une très forte lampe, la flamme d'une bougie tenue à quelque distance d'un écran y produit une ombre, parce qu'elle absorbe une partie de la lumière de la lampe. Si on rapproche la bougie de l'écran, l'élairage augmente et l'ombre disparaît, quoique la différence d'éclat entre elle et le fond reste la même.

La loi de *Fechner* n'est vraie que pour des éclairages moyens. Si l'éclairage devient très faible, il faut que la différence soit relativement bien plus considérable. On lit très bien avec un bec de gaz; mais, si l'on baisse beaucoup la flamme, on ne peut plus lire, quoique le rapport entre la lumière réfléchie par les lettres et celle réfléchie par le papier reste le même. — Il est possible que cet écart soit dû à ce qu'on appelle *la lumière propre de la rétine*, expression par laquelle on désigne la lueur faible qu'on aperçoit encore dans une chambre complètement obscure, et qui est due à des causes internes (frottement du sang des vaisseaux de la rétine contre la couche sensible, peut-être aussi des processus dans certaines parties du cerveau, etc.). On conçoit que, si cette lumière vient s'ajouter à celle réfléchie par la feuille imprimée, la différence d'éclat entre les lettres et la feuille blanche puisse descendre au-dessous de la limite de *Fechner*. — La loi de Fechner cesse aussi d'être applicable lorsque l'eclat est très fort. C'est ainsi qu'on ne peut pas voir les taches du soleil à l'œil nu, mais bien avec un verre fumé, à cause de l'eblouissement.

Mais, entre des limites très larges qui correspondent à peu près aux limites des eclairages que nous employons, la loi de *Fechner* se vérifie avec une exactitude très grande. Elle n'est pourtant pas absolue : pour

distinguer des nuances très fines, il semble qu'il y ait un certain éclairage qui soit le plus favorable, celui qui se rapproche de celui d'un beau jour.

L'acuité du sens lumineux peut s'exprimer par l'inverse de la fraction de *Fechner*. Si celle-ci est de $\frac{1}{100}$, on dira que l'acuité du sens lumineux est égale à 100 ; si, en baissant l'éclairage fortement, la fraction monte à un cinquantième, on dira que l'acuité n'est que 50, et ainsi de suite.

On pourrait représenter le rapport entre le sens lumineux et l'éclairage par une courbe qui aurait une forme analogue à celle de la figure 148. Les divisions de la ligne horizontale indiqueraient le degré de l'éclairage, commençant à gauche par l'obscurité complète pour

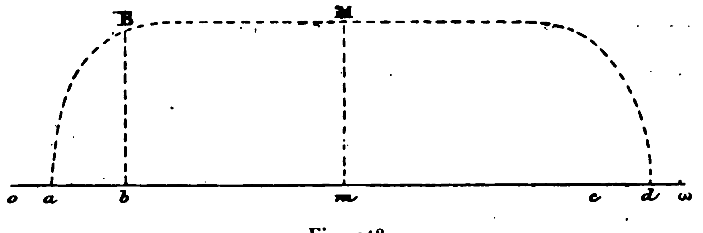


Fig. 148.

se terminer à droite par l'éclat du soleil. L'ordonnée de chaque point de la courbe mesurerait l'acuité du sens lumineux. Tant que l'éclairage est très faible, l'œil ne voit rien : arrivé à un certain degré qui, dans la figure, est marqué par la lettre *a*, l'œil commence à pouvoir distinguer des objets blancs. Ce degré d'éclairage, qui forme la limite inférieure de visibilité, est désigné sous le nom de *seuil* (« Reizschwelle »). Tant que l'éclairage reste aussi faible, le sens lumineux n'est pas très fin ; les différences perceptibles sont considérables. Mais l'acuité augmente vite, et lorsque l'éclairage a atteint un certain degré, *b*, l'acuité arrive au degré qu'elle garde pendant longtemps, jusqu'à ce que l'éclairage ait atteint la force *c*. C'est pour la partie *bc* que la loi de *Fechner* est vérifiée, mais pas exactement, car cette partie de la courbe n'est pas tout à fait droite, elle a un maximum en M.

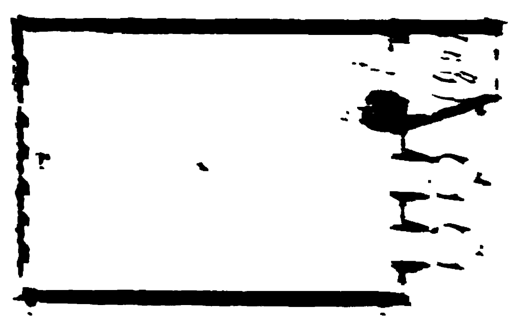
Si on augmente encore plus l'éclat, le sens lumineux descend vite ; il faut de nouveau des différences d'éclat très considérables pour être distinguées.

101. Mensuration du sens lumineux. — On se borne habituellement à déterminer :

1° Le *seuil*, la limite inférieure où l'œil commence à distinguer quelque chose (correspondant au point *a* de la courbe) ;

2° La différence minimum d'éclat qu'on puisse distinguer à l'éclairage

ordinaire, correspondant [illegible] que [illegible]



diminuée. Il est pourtant évident qu'on ne peut pas l'éliminer complètement, l'acuité pouvant être assez mauvaise pour empêcher le malade de rien distinguer.

Un autre procédé, pour étudier le pouvoir de distinguer des différences d'éclat, consiste à examiner l'acuité visuelle pour des lettres pâles, dont on peut déterminer l'éclat en les comparant avec les anneaux du disque de *Masson*. Ce procédé, qui a été indiqué par *Javal*, a plus tard été développé par *Bjerrum*. Le mieux serait d'avoir une série de tableaux d'acuité visuelle avec des lettres de plus en plus pâles, mais le plus souvent un seul suffit; *Bjerrum* recommande d'employer des lettres dont l'éclat est

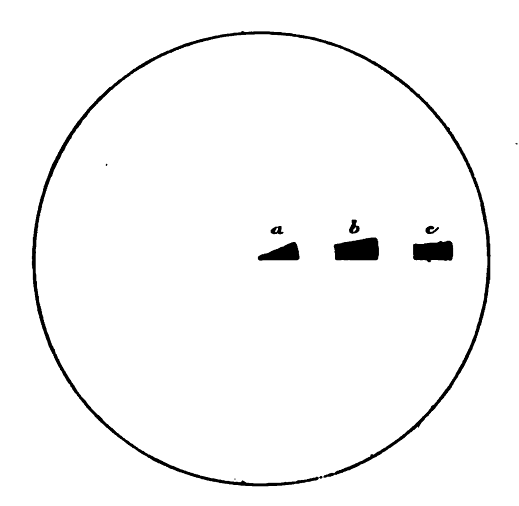


Fig. 150. — Disque de *Masson*.

de un douzième plus faible que celui du fond. Pour ces lettres, un individu normal a une acuité d'environ un tiers de l'acuité qu'il a pour des lettres noires sur fond blanc. Il est évident que ce procédé ne peut pas être considéré comme une mesure pure du sens lumineux, puisque l'acuité visuelle joue un grand rôle dans la réponse du malade. Pour éliminer jusqu'à un certain point cette influence, on peut employer son propre œil comme contrôle, en abaissant son acuité visuelle au moyen d'un verre convexe, jusqu'à ce qu'elle soit égale à celle du malade.

102. Résultats. — Le *seuil* de l'œil normal a été déterminé par *Aubert*. Il a trouvé que l'éclat le plus faible qu'on puisse distinguer est celui d'une feuille de papier blanc éclairée par une bougie placée à une distance de 200 à 250 mètres. Le seuil varie beaucoup avec l'état d'*adaptation* de l'œil ; placé dans une chambre obscure, on ne distingue pas, au premier moment, des objets qu'on voit très bien plus tard, une fois

habitué à l'obscurité. Pour la détermination du seuil, il faut donc laisser le malade quelque temps (jusqu'à vingt minutes) dans l'obscurité, les yeux bandés, avant de commencer l'examen. Il semble que, par ce séjour dans l'obscurité, toute la courbe (figure 148) est déplacée vers la gauche, et la limite supérieure aussi, car en sortant de l'obscurité l'œil est ébloui par un éclairage qu'il supporte très bien habituellement.

La fraction de *Fechner* varie, chez les personnes normales, entre $\frac{1}{100}$ et $\frac{1}{180}$ (0,55 à 1 p. 100).

Pour un éclairage très faible, le sens lumineux de la macula est moins bon que celui des parties environnantes ; en fixant un peu à côté, on distingue mieux les objets dont l'éclat ne diffère que peu de celui du fond, par exemple lorsqu'on essaie de distinguer des étoiles très faibles. Suivant certains auteurs, tels que *Parinaud*, ce phénomène doit être attribué à ce que la fovea ne possède pas la faculté de pouvoir s'adapter à des éclairages très faibles comme le reste de la rétine, et cette différence s'explique parce que la fovea, composée de cônes, ne possède pas de pourpre rétinien, qui est considéré comme l'organe de l'adaptation. Cette hypothèse se trouve confirmée par un autre fait, à savoir que le temps de repos qu'exige l'œil pour atteindre l'adaptation complète est à peu près le même (environ vingt minutes) que celui qui est nécessaire pour la régénération du pourpre. Il est pourtant possible que l'infériorité de la macula soit en partie due à sa pigmentation jaune. Le pigment absorbe une partie des rayons bleus qui, comme nous le verrons, jouent un rôle prépondérant pour la vision à de faibles éclairages.

Le seuil est déplacé vers le haut chez les malades souffrant d'héméralopie. Il semble pourtant que, dans beaucoup de cas, il s'agisse plutôt d'une anomalie de l'adaptation, qui demande bien plus de temps pour se faire que dans l'œil normal. En laissant un héméralope dans l'obscurité, il continue à gagner pendant longtemps. On peut constater l'héméralopie avec le photoptomètre de Foerster ou en examinant l'acuité visuelle pendant qu'on diminue l'éclairage. L'héméralopie est un symptôme constant de la rétinite pigmentaire ; on la rencontre aussi souvent dans les cas de rétino-choroïdite syphilitique, quelquefois dans les cas de décollement de la rétine ou de glaucome. Elle est extrêmement rare dans les cas d'atrophie pure du nerf optique. Dans les cas d'héméralopie idiopathique on ne trouve rien dans le fond de l'œil ; cette maladie est souvent congénitale et héréditaire et, partant, incurable ; si, au contraire, la maladie n'existe que depuis peu de temps, son pronostic est bon ; elle a quelquefois un caractère endémique. Il arrive que la partie périphérique du champ visuel est seule affectée ; on constate alors la maladie en examinant le champ visuel avec un faible éclairage.

On rencontre quelquefois des cas où la fraction de Fechner est augmentée ; où, par conséquent, les malades ne peuvent distinguer le gris du blanc. Cette affection se rencontre surtout dans le cas d'atrophie du nerf optique et de scotome central. — Un des premiers cas de ce genre a été observé à la clinique de *Hansen Grut* à Copenhague et décrit par *Krenchel*. C'était un malade qui se présentait en disant qu'il ne voyait pas assez pour se conduire. A l'ophtalmoscope, les papilles étaient blanchâtres, l'acuité visuelle était normale et le champ visuel n'était qu'un peu rétréci. On était donc très embarrassé pour s'expliquer les plaintes du malade, jusqu'à ce qu'on ait eu l'idée de l'examiner avec le disque de *Masson* : la fraction de *Fechner* avait augmenté jusqu'à un dixième. Le malade distinguait parfaitement du noir sur blanc, mais était incapable de distinguer entre des nuances grises, comme elles se présentent par exemple pour le pavage d'une rue : d'où la difficulté qu'il éprouvait pour se conduire.

On rencontre parfois des malades qui prétendent voir mieux lorsque l'éclairage baisse (*nyctalopie*). En examinant l'acuité visuelle, on trouve pourtant qu'elle n'augmente pas lorsqu'on baisse l'éclairage (dans les cas où l'on n'a pas affaire à un phénomène purement optique : c'est ainsi qu'un leucome central devient moins gênant quand la pupille est dilatée). — Mais, en comparant ces personnes avec une personne normale, on remarque qu'en baissant l'éclairage l'acuité de la personne normale baisse plus vite que celle du malade. Si la personne normale a une acuité triple de celle du malade à l'éclairage ordinaire, il peut arriver qu'en baissant l'éclairage tous deux aient la même acuité visuelle. Des personnes souffrant d'un scotome central accusent quelquefois de la nyctalopie pour une raison analogue. Nous avons vu, en effet, que la supériorité de la *macula* sur le reste de la rétine diminue avec l'éclairage, de sorte qu'à un éclairage très faible la *fovea* voit moins bien que le reste de la rétine. On conçoit donc qu'un scotome central peut causer relativement moins de gêne lorsque l'éclairage est faible.

Rappelons encore la mensuration quantitative du sens lumineux chez les personnes affectées de cataracte. Le malade doit pouvoir reconnaître l'éclairage d'une lampe ordinaire à une distance de 4 à 5 mètres, ou celle d'une bougie à 2 mètres, et il faut que la projection soit bonne, c'est-à-dire que le malade puisse indiquer la direction dans laquelle se trouve la source lumineuse. Si le malade ne satisfait pas à ces conditions, on peut conclure à une affection du fond de l'œil, ce qui oblige à faire un pronostic défavorable.

Bibliographie. — Bouguer (P.). *Essai d'optique*. Paris, 1729. — Bouguer (P.). *Traité d'optique sur la gradation de la lumière*. Paris, 1760. — Lambert (J.-H). *Pho-*

tometria. Augustæ Vindelic, 1760. — Masson. *Etudes de photométrie électrique*. Ann. de physique et chimie, 1845, t. XIV, p. 129. — Fœrster. *Ueber Hemeralopie und die Anwendung eines Photometers im Gebiete der Ophthalmologie*. Breslau, 1857. — Fechner. *Elemente der Psychophysik*. Leipzig, 1860, 2 vol. — Klein. *De l'influence de l'éclairage sur l'acuité visuelle*. Paris, 1873. — Krenchel (V.) in *Klin. Monatsbl. für Augenheilk*. Février, 1880. — Bjerrum (J.). *Undersœgelsen af Synet*. (Danois). Copenhague, 1894.

L'ouvrage de *Lambert* est de première importance. Une traduction allemande, annotée par *Anding*, vient de paraître dans *W. Ostwald. Die Klassiker der exakten, Wissenschaften*. Leipzig, 1892.

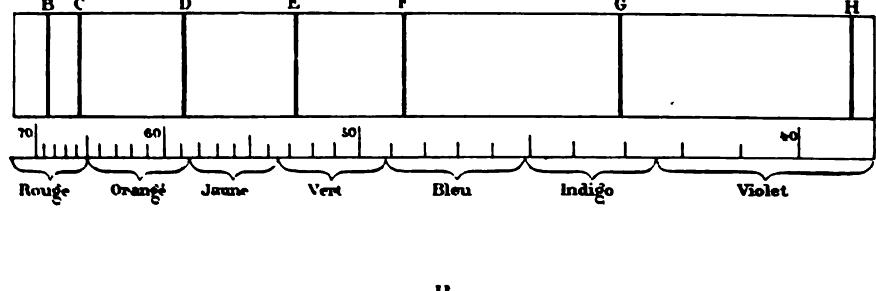
CHAPITRE XVII

LE SENS CHROMATIQUE

103. Remarques générales. — En analysant une couleur quelconque avec le spectroscope, on n'y trouve pas d'autres teintes que celles qui composent le spectre solaire, mélangées dans des proportions différentes. Les seules couleurs qui pourraient sembler former une exception, les couleurs brunâtres, sont en réalité des couleurs rouges ou jaunes de peu d'intensité, plus ou moins mélangées de blanc. Pour examiner le sens chromatique, on peut donc se borner à l'étude des couleurs spectrales et de leurs mélanges. On a ainsi l'avantage d'expérimenter avec des couleurs pures et qui sont facilement définissables par la longueur d'onde des rayons. L'emploi de papiers colorés, quoique très commode, présente de grands inconvénients, par suite de l'impossibilité où l'on est de définir exactement la coloration du papier employé, de façon qu'un autre expérimentateur puisse s'en procurer un semblable. Au contraire, si l'on obtient un résultat avec de la lumière spectrale de longueur d'onde déterminée, l'expérience peut être indiquée d'une manière très précise, la seule condition qui soit laissée incertaine étant l'intensité de la lumière employée. En analysant de la lumière spectrale bleue avec le spectroscope, on n'y trouve que du bleu, tandis que la lumière réfléchie par un papier de cette couleur contient, outre le bleu, la plupart des autres couleurs du spectre. Il existe bien une autre manière de se procurer des couleurs pures, car les vapeurs incandescentes donnent de la lumière monochromatique, au moins approximativement. C'est ainsi que la flamme de sodium donne de la lumière jaune d'une longueur d'onde de 0,59 μ, la flamme de lithium de la lumière rouge (0,67 μ), la flamme de thallium de la lumière verte (0,54 μ), et la flamme de strontium de la lumière bleue (0,46 μ). Mais, le plus souvent, ces flammes sont d'un emploi moins commode que la lumière spectrale. La lumière qui a traversé des verres colorés est en général

loin d'être monochromatique ; il faut pourtant excepter les verres rouges, colorés avec l'oxydule de cuivre, qui, lorsqu'ils sont un peu sombres, ne laissent guère passer que des rayons rouges. Parmi les liquides, on se sert quelquefois de la solution de bichromate de potassium, qui absorbe l'extrémité bleue du spectre et de la solution de sulfate de cuivre-ammoniaque qui absorbe le rouge, le jaune et une partie du vert. Un mélange des deux laisse passer une lumière verte assez pure.

On distingue entre les spectres de réfraction, formés au moyen de prismes, et les spectres de diffraction qu'on obtient en laissant la lumière



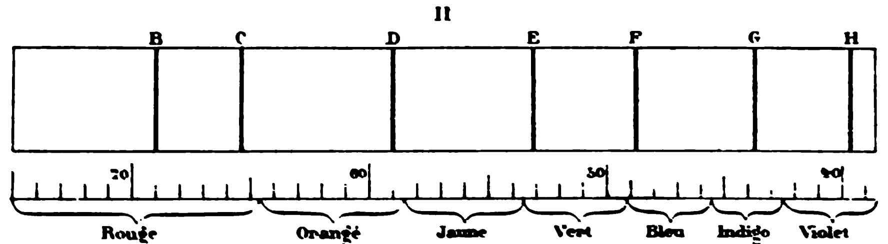


Fig. 151. — I. Spectre de réfraction. — II. Spectre de diffraction.
Les chiffres indiquent la longueur d'onde en centièmes de μ.

passer par un *réseau*, c'est-à-dire une plaque de verre sur laquelle on a tracé un grand nombre de traits parallèles très fins.

Les spectres de réfraction sont préférables parce qu'ils sont, en général, plus purs que les spectres de diffraction. Ils ont cet inconvénient que la largeur relative des différentes couleurs varie avec le prisme employé. Les couleurs rouge et orangée sont réduites à un espace relativement petit, tandis que les couleurs bleue et violette sont étalées sur une grande surface. Dans le spectre de diffraction, la distance entre les différentes couleurs est au contraire proportionnelle à la différence de longueur d'onde (fig. 151), de sorte que les spectres de diffraction se ressemblent tous et forment pour ainsi dire le spectre normal. Le jaune se trouve au milieu de ce spectre ; le rouge et l'orangé en occupent une moitié, le vert, le bleu, l'indigo et le violet l'autre moitié.

Comme points de repère dans le spectre, on se sert souvent des raies de *Fraunhofer*, dont les longueurs d'onde ont été très exactement déterminées. On dit, par exemple, que les rayons dont on s'est servi sont situés à moitié de distance entre E et F ; sur l'échelle de la figure 151, on voit que la lumière employée doit avoir eu une longueur d'onde de 0,50 à 0,51 μ. — Mieux vaut pourtant déterminer la longueur d'onde directement, ce qu'on fait facilement au moyen d'un réseau.

J'ai déjà fait remarquer qu'il y a dans le spectre des rayons au delà du rouge qui ne sont pas visibles. L'extrême rouge visible correspond à peu près à une longueur d'onde de 0,8 μ. Les couleurs se suivent ensuite dans l'ordre bien connu : rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet. Au delà du violet viennent les rayons ultra-violets, qui ne sont pas visibles dans les conditions ordinaires, mais qu'on peut observer au moyen de la plaque photographique, ou en les recevant sur un écran fluorescent, ou simplement en éliminant toute autre lumière, d'après la méthode indiquée page 101. Ils sont alors vus avec une certaine couleur grisâtre, qui est peut-être en partie due à ce que la rétine est fluorescente.

On distingue les couleurs d'après leur *ton*, leur *saturation* et leur *intensité*. Le ton dépend seulement de la longueur d'onde, ou, autrement dit, de la place de la couleur dans le spectre : le rouge a un autre ton que le vert, etc. La *saturation* dépend du blanc qui se trouve ajouté à presque toutes les couleurs existantes, excepté celles du spectre : moins il y a de blanc, plus la couleur est saturée. L'*intensité* dépend de la quantité de lumière. Si on a formé un spectre au moyen d'une certaine source lumineuse et qu'ensuite on augmente l'intensité de cette source, l'intensité de toutes les couleurs du spectre augmente en même temps.

Le ton change constamment dans le spectre : c'est-à-dire que, si l'on prend de la lumière de deux différentes parties du spectre, on ne peut pas les rendre pareilles en faisant varier leur intensité. Le changement atteint sa plus grande rapidité dans la partie verte-bleue du spectre, où une variation dans la longueur d'onde de 0,001 μ produit déjà un changement de ton ; la rapidité diminue vers les extrémités et dans les parties extrêmes du rouge et du violet, le ton reste le même (*Kœnig* et *Dieterici*). — D'après *Kœnig*, on peut distinguer environ 160 tons différents dans le spectre. D'autre part, suivant le même auteur, l'œil peut distinguer environ 600 degrés d'intensité différente entre le *seuil* et l'éclat éblouissant. Ceci est vrai pour le blanc et probablement aussi pour les différents tons du spectre, mais le nombre total d'impressions différentes entre lesquelles l'œil peut faire une distinction est pourtant

moins grand qu'on ne pourrait le croire d'après ces indications, car lorsque l'intensité devient très grande ou très faible, la couleur disparaît, comme nous le verrons tout à l'heure.

En examinant le spectre, il est facile de voir que nos *sensations de couleurs* forment une série continue. Nous commençons par le rouge, qui passe de l'orangé au jaune, etc., jusqu'au violet dont la teinte présente de l'analogie avec le rouge. La couleur intermédiaire entre le rouge et le violet, le *pourpre*, ne se trouve pas dans le spectre, mais il

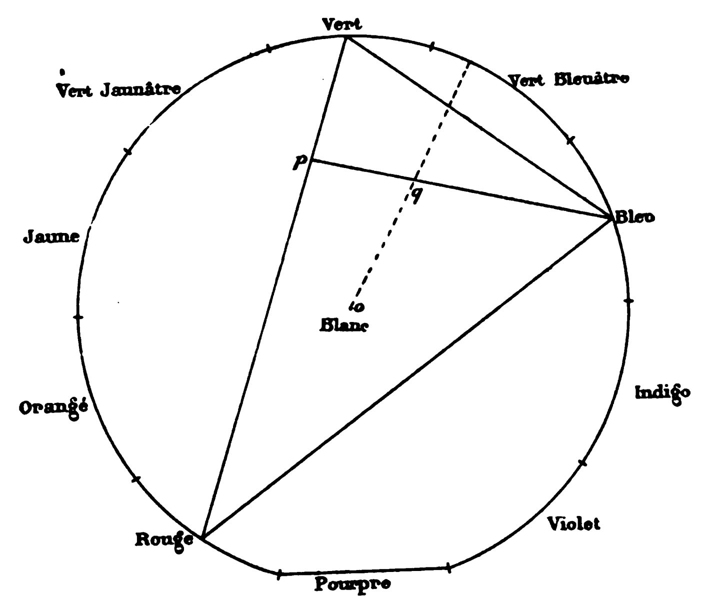


Fig. 152. — Table de couleurs d'après *Newton*.

serait possible que cette couleur fût produite par les rayons ultra-violets, si la rétine n'était pas fluorescente.

On peut donc représenter la gamme des couleurs par une courbe fermée. La forme la plus simple qu'on puisse donner à cette courbe est celle d'un cercle (fig. 152), en remplaçant la partie correspondant au pourpre par une ligne droite ; nous verrons tout à l'heure pourquoi. Nous nous figurons toutes les couleurs du spectre placées sur ce cercle dans leur ordre naturel. Au centre se trouve le blanc, et sur la droite, allant du blanc à une des couleurs spectrales, se trouvent les différentes nuances, d'autant plus saturées qu'on se rapproche davantage de la couleur spectrale. Si l'on mélange deux couleurs, le mélange aura un des tons intermédiaires, souvent lavé de blanc, et si l'on mélange, dans des proportions convenables, deux couleurs situées en face l'une de l'autre sur la table, on obtient du blanc pur. On nomme *complémentaires* deux couleurs qui, mélangées ensemble, donnent du blanc. C'est ainsi que le

rouge est complémentaire au vert-bleu, le vert au pourpre, le jaune à l'indigo et l'orangé au bleu.

C'est *Newton* qui le premier a disposé les couleurs suivant cette table. On y trouve tous les tons et tous les degrés de saturation.

Disons encore quelques mots de la sensation du noir. Il faut d'abord remarquer que le noir produit une véritable sensation : voir du noir n'est pas la même chose que ne rien voir. L'exemple le plus frappant est celui de la tache de *Mariotte*, qui correspond à la papille. Dans cette tache nous ne voyons rien, mais nous ne la voyons pas noire. En regardant devant soi, on voit une partie de la pièce dans laquelle on se trouve; quant à celle qui dépasse les limites du champ visuel, on ne la voit pas, mais elle ne paraît pas noire. L'impression du noir est donc une véritable sensation, qui correspond à l'état de repos de l'organe visuel.

Il n'existe dans la nature aucun objet complètement noir : même le velours noir réfléchit encore une quantité de lumière relativement considérable. Un objet noir placé dans la lumière directe du soleil peut paraître plus clair qu'un objet blanc placé dans l'ombre.

D'après quelques mensurations que j'ai entreprises, le papier le plus blanc que j'aie pu trouver (carte de visites) ne renvoie qu'environ un tiers de la lumière incidente (37 p. 100). Le *blanc normal de Kœnig*, qu'on obtient en allumant un fil de magnésium et en laissant la fumée se déposer sur une feuille de papier, renvoie environ deux tiers de la lumière; sa blancheur se rapproche de celle de la neige. Du papier noir ordinaire (bristol noir) renvoie à peu près 5 p. 100 de la lumière incidente (1,5 p. 100 de la quantité réfléchie par le papier blanc); du papier velouté noir renvoie environ 5 p. 1000 de la lumière incidente (1,5 p. 1000 du papier blanc). Le noir le plus absolu qu'on puisse produire est celui d'une ouverture faite dans la paroi d'une boîte fermée, noircie intérieurement. Comparé avec ce noir, le papier velouté paraît encore légèrement grisâtre.

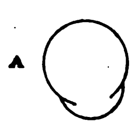
Le noir ne figure pas sur le tableau de *Newton*. Si on voulait le comprendre dans la représentation, il faudrait se figurer les couleurs placées sur un corps à trois dimensions, une pyramide ou un cône (*Lambert*). La table de *Newton* formerait la base du cône, tandis que le noir en formerait le sommet : sur la surface conique on placerait les couleurs peu intenses. C'est ainsi que le brun trouverait sa place entre le jaune et le noir, et ainsi de suite.

104. Phénomènes de contraste (simultané). — Notre jugement sur les couleurs est toujours influencé par les couleurs des objets environnants. C'est un fait qui est bien connu des peintres, dont le sens chromatique

est en général très développé, de sorte qu'ils voient souvent des couleurs que des personnes non exercées n'aperçoivent pas. Mais, dans des circonstances spéciales, cette influence se fait sentir d'une manière tout à fait frappante.

1° ***Expérience de H. Meyer.*** — En plaçant un petit morceau de papier gris sur une feuille de papier coloré et en couvrant le tout avec une feuille de papier de soie, le petit morceau est vu avec la couleur complémentaire. *Pflüger* a fait imprimer des lettres ainsi disposées pour l'examen du daltonisme.

2° ***Expérience de Ragona Scina.*** — Deux feuilles de carton blanc (BC et BD, fig. 153) sont placées de manière à former entre elles un angle droit; sur chacune se trouve une tache noire, *a*, *b*, et un verre rouge BE est placé de manière à former un angle de 45° avec les cartons. L'œil A reçoit de BC des rayons qui ont traversé le verre rouge et des rayons de BD réfléchis par ce verre. Les premiers sont rouges, les seconds blancs, de sorte que le fond BC paraît rouge blanchâtre. La tache *a* est vue en *a'* avec une couleur rouge-foncé, parce que l'œil ne reçoit de cet endroit que des rayons rouges, les rayons blancs qui devraient venir de BD faisant défaut. Correspondant à *b*, l'œil ne reçoit que des rayons blancs provenant de BD, et néanmoins *b* paraît d'un vert intense, par contraste. L'expérience, qui est très jolie, peut être faite avec d'autres verres colorés. On voit toujours *a* et *b* en couleurs complémentaires.



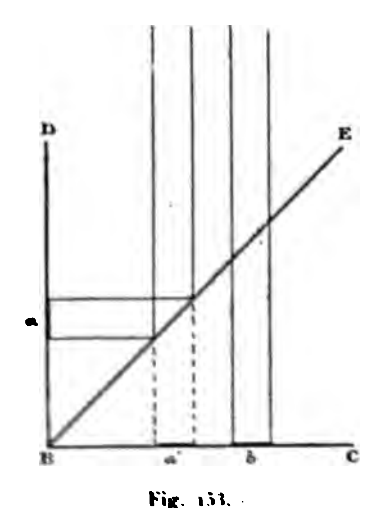


Fig. 153.
Expérience de Ragona Scina.

3° ***Ombres colorées.*** — Soient A et B (fig. 154) deux bougies dont A peut être plus forte : devant A on place un verre rouge ; *a* et *b* sont les ombres que la baguette C forme sur un écran blanc. L'écran, éclairé par la lumière blanche de B et la lumière rouge de A, devrait paraître rouge blanchâtre, mais le rouge est à peine perceptible ; *b*, qui n'est éclairé que par la lumière rouge de A, paraît rouge, et *a*, qui devrait paraître blanc, paraît vert, par contraste. On peut aussi faire l'expérience avec la lumière du jour et celle d'une bougie, cas dans lequel on

n'a pas besoin du verre coloré, puisque les couleurs des deux lumières diffèrent déjà. On commence par éclairer l'écran avec la lumière du jour; on voit l'écran blanc et l'ombre noire (grise). En allumant la bougie, l'écran paraît encore blanc, quoiqu'il semblerait qu'il dût paraître jaune, puisqu'il est en partie éclairé par la lumière jaune de la bougie; l'ombre, qui tout à l'heure paraissait grise, est devenue jaune, par l'éclairage de la bougie, et l'autre ombre, qui reçoit la lumière du jour, paraît bleue « par contraste ».

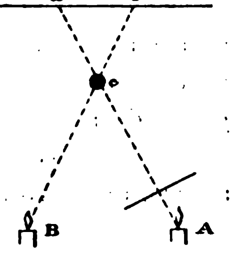


Fig. 154.
Expérience des ombres colorées.

4° ***Expérience de Dove.*** — Des phénomènes analogues aux ombres colorées s'observent lorsqu'on place un verre coloré contre un miroir. On voit alors deux images d'un objet blanc, l'une par réflexion sur la surface antérieure du verre, l'autre par réflexion sur le miroir; cette dernière a la couleur du verre, puisque les rayons ont traversé celui-ci deux fois. La première, qui devrait être blanche, montre par contraste la couleur complémentaire. Avec un objet noir sur fond blanc, la croisée d'une fenêtre par exemple, on a les phénomènes inverses.

On remarque que l'expression de contraste n'explique guère ces phénomènes singuliers. Dans la plupart de ces cas, il semble que le phénomène fondamental consiste dans la défectuosité de notre jugement du blanc. *Th. Young* a déjà attiré l'attention sur ce fait qu'une feuille de papier blanc nous paraît blanche aussi bien lorsqu'elle est éclairée par la lumière jaune d'une bougie que par la lumière rouge d'un feu de charbon. On peut dire que nous considérons à chaque instant comme blancs les corps qui renvoient la plus grande quantité de lumière, quelle que soit la lumière employée *(Javal)*. Ceci est d'abord indépendant de l'éclairage, et c'est ainsi qu'une feuille de papier blanc nous paraît blanche avec des éclairages différents. Mais le souvenir de l'éclairage du jour joue néanmoins un rôle, de sorte que, si la couleur réelle en diffère beaucoup, le papier semble blanc avec un léger ton coloré; ainsi, en le regardant à travers un verre rouge, cas dans lequel le papier ne nous envoie que des rayons rouges, il paraît d'un blanc rougeâtre.

Dans l'expérience avec les ombres colorées, l'écran nous paraît blanc lorsqu'il est éclairé par le jour seul, et aussi lorsqu'il est éclairé par le mélange du jour et de la bougie à la fois. Mais si, dans ces circonstances, la lumière blanc-jaunâtre qui éclaire l'écran nous paraît blanche, il n'y a rien d'étonnant à ce que la lumière blanche qui éclaire l'une des ombres paraisse bleue, c'est-à-dire moins jaune que l'écran. C'est, pour ainsi

dire, le zéro de l'échelle de nos sensations chromatiques (le blanc) qui est déplacé, et avec lui toute l'échelle.

Contraste simultané véritable. — Tandis que les phénomènes dont je viens de parler sont dus à un jugement faux de la couleur blanche, il y en a d'autres qui sont dus à un véritable contraste. En faisant tourner un disque comme celui de la figure 155, mais possédant un nombre plus grand de secteurs, on obtient des anneaux gris et on remarque qu'on ne peut pas voir les anneaux extrêmes qui sont très pâles; de chaque anneau on ne voit que les bords : le bord extérieur, qui paraît plus foncé

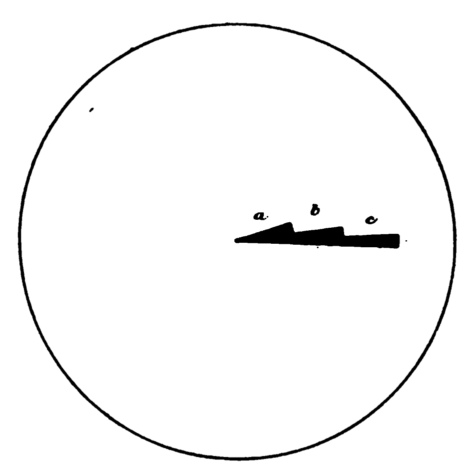


Fig. 155. — Disque de *Masson*.

que le reste de l'anneau, par contraste avec l'anneau suivant qui est plus pâle, et le bord intérieur, qui paraît plus pâle que le reste, par contraste avec l'anneau voisin plus sombre. En remplaçant le blanc et le noir par du jaune et du bleu, on obtient des anneaux qui présentent différentes nuances de gris; les anneaux internes sont bleuâtres, les anneaux externes jaunâtres. Mais chaque anneau a un bord interne qui est jaune, par contraste avec l'anneau précédent qui est plus bleu, et un bord externe qui est bleu, par contraste avec l'anneau suivant qui est plus jaune. Le phénomène est très prononcé, mais disparaît, au moins en grande partie, si l'on sépare les anneaux par des cercles noirs très fins. Des limites diffuses favorisent beaucoup l'effet du contraste.

105. Images secondaires (*Contraste successif*). — Lorsqu'on regarde une petite surface colorée, posée sur un fond blanc, en fixant exactement le même point pendant un peu de temps, on remarque que la couleur diminue peu à peu d'éclat : le rouge devient brun, etc. On remarque en

même temps que l'objet s'entoure d'un bord étroit de couleur complémentaire, dû à ce que, malgré lui, l'observateur fait de petits mouvements du regard. On explique le phénomène en disant que l'endroit de la rétine où se forme l'image est fatigué pour la couleur en question. Si l'on porte ensuite le regard sur une feuille de papier blanc, on voit une image teintée de la couleur complémentaire. Si la surface était rouge, l'image apparaît vert bleuâtre. On peut se figurer la couleur blanche comme composée de deux couleurs complémentaires, rouge et vert; la rétine étant fatiguée pour la couleur rouge, c'est la couleur verte qui domine. Si l'objet qu'on regarde est blanc, l'image secondaire est noire; mais, si l'on regarde une flamme ou un autre objet très brillant, on obtient une image secondaire colorée et dont la couleur varie avant sa disparition.

Les images secondaires de couleur complémentaire sont dites *négatives :* on peut aussi obtenir des images *positives,* dont chaque partie a la même couleur que l'original. On ferme les yeux et on les couvre avec la main pendant quelques minutes, de façon qu'aucune lumière ne puisse pénétrer dans l'œil. On reste dans cette position pendant quelque temps, jusqu'à ce que toutes les impressions antérieures de la rétine soient éteintes. Cela fait, on retire la main et on ouvre les yeux un instant, sans toutefois changer la direction du regard, pour les fermer aussitôt et les rouvrir de nouveau. Si l'expérience réussit bien, on voit alors une image positive des objets extérieurs, d'une netteté étonnante. On a de la peine à se figurer qu'on ait réellement fermé les yeux, la main paraît transparente. Si l'on continue à tenir les yeux fermés, on voit les parties moins éclairées de l'image disparaître, tandis que les parties plus éclairées changent de couleur en devenant bleuâtres, violettes, orangées, etc.; l'image disparaît et revient de nouveau, et ainsi de suite. Si, pendant que l'image persiste encore nettement, on ouvre les yeux en dirigeant le regard vers une surface blanche, de positive l'image devient négative.

Les images secondaires se meuvent avec le regard. Leur grandeur apparente dépend de la distance de la surface sur laquelle on les projette : plus cette surface est proche, plus l'image paraît petite.

106. Phénomènes dépendant de la variation de l'intensité des couleurs. — La loi de *Fechner* s'applique aux lumières colorées comme à la lumière blanche. *Kœnig* et *Brodhun* ont trouvé pour leurs yeux une fraction d'environ 1/50, aussi bien pour de la lumière blanche que pour de la lumière spectrale d'une longueur d'onde quelconque. Comme pour la lumière blanche, ils ont constaté une augmentation de la fraction, c'est-à-dire

une diminution de la faculté de distinguer entre des nuances d'intensité très faibles, lorsque l'intensité de la lumière spectrale employée était très grande (éblouissement), de même que lorsqu'elle devenait très faible. Ils ont trouvé une différence remarquable à cet égard entre les différents rayons du spectre : en baissant l'éclairage, la fraction de *Fechner* augmentait vite pour la lumière rouge, bien plus vite que pour la lumière blanche, mais pour la lumière bleue elle augmentait moins vite que pour la lumière blanche. Lorsque l'éclairage est faible, l'œil distingue donc mieux des différences d'intensité dans la lumière bleue que dans la lumière blanche, et surtout que dans la lumière rouge. Le *seuil* est aussi situé plus bas pour la lumière bleue que pour la lumière blanche. Cette observation confirme un fait qui a été démontré par les recherches de *Macé de Lépinay* et *Nicati;* ces auteurs ont trouvé que l'acuité visuelle diminue plus vite en baissant l'éclairage, lorsqu'on éclaire le tableau avec de la lumière blanche que lorsqu'on l'éclaire avec de la lumière bleue. *Uhthoff* a répété ces recherches avec le même résultat.

Un autre phénomène du même ordre est connu sous le nom de phénomène de *Purkinje*. Qu'on cherche deux papiers colorés, un rouge et un bleu, qui, comparés à la lumière du jour, semblent avoir la même clarté : en diminuant fortement l'éclairage, on voit que le bleu paraît beaucoup plus lumineux que le rouge.

Il n'est pas facile de comparer les intensités de différentes couleurs. L'œil fait preuve à cet égard d'une incertitude beaucoup plus grande que lorsqu'on compare la lumière de deux sources de même ton. Dans le spectre, ce sont les rayons jaunes et verts qui ont le plus d'éclat. L'intensité diminue vers les deux extrémités du spectre, mais plus vers l'extrémité bleue que vers l'extrémité rouge. Il est pourtant à remarquer que, si les couleurs bleues et violettes semblent relativement faibles dans le spectre prismatique, cela tient en partie à ce que ces couleurs sont étalées sur une étendue beaucoup plus grande que les autres. Dans le spectre de diffraction l'intensité a son maximum au milieu du spectre et diminue à peu près également vers les deux extrémités.

Si l'on diminue l'intensité de la source lumineuse, l'intensité de l'extrémité rouge du spectre diminue plus vite que celle de l'extrémité bleue (phénomène de *Purkinje*). Les couleurs changent en même temps de ton. On voit d'abord les couleurs jaune et bleue disparaître ; il ne reste que le rouge, le vert et le violet, lesquelles prennent les places des couleurs disparues. En diminuant encore l'intensité, le bleu se change en bleu-gris, le vert en vert-gris, le rouge devient brunâtre et à la fin toutes les couleurs disparaissent, on ne voit que du gris. Le rouge seul forme une exception ; il ne semble pas se changer en gris avant de dis-

paraître. Si l'on projette le spectre sur une bande de papier velouté noir qui ne réfléchit que très peu de lumière, il paraît gris dans toute son étendue, sauf la partie rouge qui paraît brune.

L'expérience suivante montre d'une manière très frappante la différence qui existe à cet égard entre les deux extrémités du spectre. On

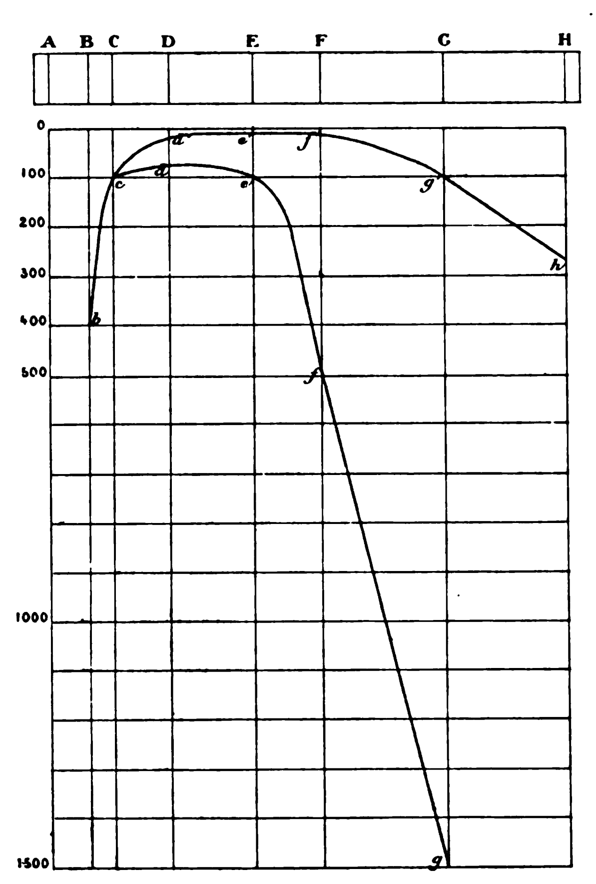


Fig. 156. — D'après *Parinaud*.

projette le spectre sur un écran A, percé de deux ouvertures laissant passer les rayons rouges et les rayons bleus et violets. Derrière l'écran A on place une lentille qui réunit ces rayons sur un deuxième écran B, en y formant une image de la surface du prisme qui est tournée vers A. Cette image montre alors une jolie couleur pourpre. Devant l'écran B on place une baguette qui y forme deux ombres, l'une rouge, l'autre bleue, et il est facile de régler les ouvertures de l'écran A de sorte que les deux ombres aient la même clarté. Si maintenant on diminue la largeur de la fente par laquelle la lumière parvient au prisme, le pourpre se lave de plus en plus de blanc. L'ombre bleue devient grisâtre et de

plus en plus claire, comparée au fond, tandis que l'ombre rouge garde sa couleur, mais devient de plus en plus sombre. A la fin, elle est presque noire et seule visible, l'autre ombre étant grise et ayant presque la même clarté que le fond.

Suivant *Parinaud*, ces phénomènes dépendent de l'adaptation de l'œil. Le spectre de faible intensité, qui paraît gris à l'œil adapté, est invisible à l'œil non adapté, et lorsque, l'intensité augmentant, il devient visible à l'œil non adapté, il paraît de suite coloré. *Parinaud* a déterminé le seuil pour différents rayons du spectre, et trouvé les courbes représentées par la figure 156. La courbe supérieure est celle de l'œil adapté, la courbe inférieure celle de l'œil non adapté. Les différentes parties du spectre sont indiquées par les lignes verticales, prolongements des raies de *Fraunhofer* du schéma du spectre qui surmonte la figure. Les chiffres à gauche indiquent les quantités de lumière nécessaires pour que ces différentes parties du spectre soient perçues. Ainsi l'œil adapté a besoin d'une quantité de lumière = 1 (cette quantité étant prise comme unité) pour percevoir les rayons verts près de E, tandis que l'œil non adapté a besoin d'une quantité = 100 pour percevoir les mêmes rayons et d'une quantité = 1500 pour percevoir les rayons bleus près de G. On voit que l'œil, par l'adaptation, ne gagne rien pour la perception des rayons rouges, tandis qu'il gagne énormément pour les rayons les plus réfrangibles. Mais il ne gagne que comme sensibilité lumineuse : excepté la partie *bc*, qui est commune aux deux courbes, toute la courbe supérieure ne correspond qu'à des sensations incolores. D'après *Parinaud*, la fovea ne gagne rien par l'adaptation; aussi les rayons paraissent-ils colorés aussitôt que, l'intensité augmentant, ils deviennent visibles à la fovea.

Les couleurs disparaissent donc lorsque l'intensité des rayons devient très faible. Mais aussi, lorsque l'intensité devient très forte, l'impression se rapproche du blanc. Le soleil, vu à travers un verre rouge, paraît jaune-blanchâtre quoique le verre ne laisse passer que les rayons rouges. En concentrant la lumière du soleil sur une feuille de papier blanc, avec une lentille, après l'avoir fait passer par un verre bleu, l'image du soleil paraît blanche. Lorsqu'on regarde le soleil à travers un prisme, le spectre se présente comme une bande incolore d'une clarté éblouissante.

107. Méthodes pour mélanger les couleurs. — L'examen fondamental du sens chromatique se fait au moyen de ce qu'on appelle des *équations de couleurs* : on mélange deux ou trois couleurs en différentes proportions, jusqu'à ce que l'observateur déclare le mélange pareil à une quatrième couleur donnée, le plus souvent le blanc. On examine ensuite si un œil dont le sens chromatique est normal reconnaît l'équa-

tion, c'est-à-dire si le mélange paraît également pareil au blanc pour cet œil. — On peut mélanger les couleurs de différentes manières.

1° *Mélanges de couleurs spectrales.* On forme deux spectres au moyen de deux prismes, et, en laissant glisser ces spectres l'un sur l'autre, on peut en mélanger deux tons quelconques. *v. Helmholtz* a atteint le même but avec un seul prisme, en employant une fente en forme de V ; chacune des branches formait un spectre oblique et les deux spectres se couvraient en grande partie, de façon qu'on pouvait obtenir tous les mélanges possibles.

L'appareil de *Maxwell* était très ingénieux. Il consistait en une boîte dont on voit une section (fig. 157). En E est une fente étroite par où passe de la lumière qui est réfléchie par le miroir *e* vers les prismes

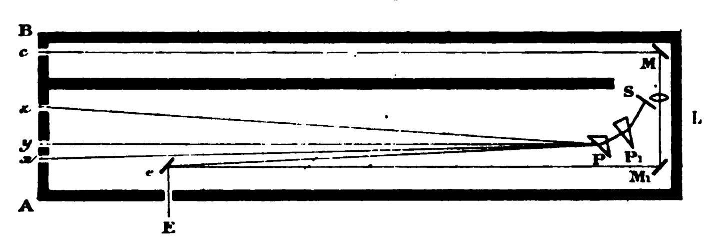


Fig. 157. — « Colour-box » de *Maxwell*.

P et P_1, qu'elle traverse pour rencontrer le miroir concave S. Ce miroir réfléchit la lumière qui traverse de nouveau les prismes pour aller former un spectre sur le fond de la boîte, AB. A cet endroit sont trois fentes mobiles *x*, *y*, *z*, ce qui permet de sortir de la caisse de la lumière spectrale de n'importe quel ton, par chacune des fentes, en les déplaçant. — Admettons que *x* corresponde au rouge, *y* au vert et *z* au violet. Il est à remarquer que, par suite de la réversibilité des processus optiques, si l'on éclaire la fente *x* du dehors par de la lumière rouge, cette lumière arivera à un œil placé en E ; mais, si l'on éclaire la même fente avec de la lumière verte, cette lumière n'arrivera pas à l'œil en E, mais sera projetée à côté de E. Pour que la lumière verte arrive en E, il faut qu'elle passe par la fente *y*. Par conséquent, en éclairant les trois fentes *x*, *y* et *z* par une source lumineuse blanche, un œil placé en E voit la surface du prisme P colorée par le mélange des trois couleurs qu'une flamme placée en E projeterait sur les fentes *x*, *y* et *z*. — Au fond de la boîte se trouve encore l'ouverture *c*, par laquelle entre de la lumière blanche, qui, après avoir été réfléchie par le miroir M et concentrée par la lentille L, rencontre une plaque de verre dépoli, noircie sur le dos, M_1. L'œil placé en E voit cette plaque à côté du prisme et peut ainsi comparer l'intensité et la couleur du mélange avec celle de la lumière blanche, entrée par *c*. En

plaçant et en ouvrant les fentes convenablement, on peut ainsi obtenir un mélange qui ne se distingue de la lumière blanche réfléchie par M_1, ni quant à la couleur, ni quant à l'intensité.

Les derniers travaux sur les mélanges des couleurs (*Koenig* et ses élèves) ont été faits avec un grand appareil spectral, qui a été construit pour le laboratoire de Berlin, et dont on trouve la description dans la deuxième édition de l'*Optique physiologique* de *v. Helmholtz* (p. 355).

2° *Maxwell* étudia aussi les mélanges des couleurs en plaçant, sur le disque de *Masson*, des secteurs de différentes couleurs (v. p. 239).

3° On peut mélanger les couleurs au moyen d'une plaque de verre

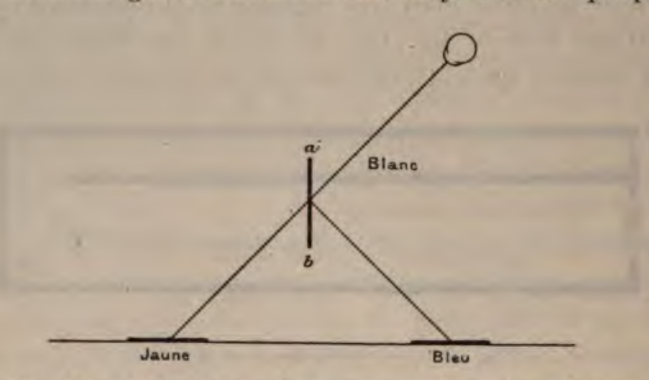


Fig. 158. — Mélange de couleurs au moyen d'une plaque de verre.

ab (fig. 158) qu'on tient de manière à ce qu'elle réfléchisse des rayons d'une couleur, en même temps qu'elle laisse passer des rayons d'une autre couleur (*Lambert*).

4° En regardant deux couleurs placées l'une à côté de l'autre à travers un prisme biréfringent, on les voit séparées par une bande dont la coloration est celle du mélange.

5° En plaçant deux verres de couleur différente devant les deux trous de l'expérience de *Scheiner* et en regardant vers le ciel, on voit la partie commune des cercles de diffusion dans la couleur du mélange.

6° Les peintres emploient souvent des mélanges de matières colorantes, mais les résultats qu'on obtient ainsi ne sont souvent pas d'accord avec ceux qu'on obtient avec les autres méthodes. L'exemple le plus connu est le mélange du jaune et du bleu. Les peintres obtiennent ainsi du vert, tandis qu'avec le disque tournant on obtient du blanc-gris (*Lambert*). *v. Helmholtz* a donné l'explication suivante de cette différence : en mélangeant les couleurs de pigment jaune et bleu, les molécules superficielles renvoient de la lumière jaune et de la lumière bleue. Réunis, ces rayons produisent l'impression du blanc, comme sur le disque tournant. Les molécules bleues situées plus profondément renvoient aussi de

la lumière bleue, mais il est à remarquer que cette lumière bleue, comme aussi celle des molécules superficielles, n'est pas pure : au spectroscope, on trouve qu'elle contient des rayons verts, bleus et violets. Les molécules jaunes renvoient des rayons rouges, jaunes et verts. En général, les molécules laissent passer des rayons de la même couleur que ceux qu'elles renvoient. Parmi les rayons réfléchis par les molécules profondes jaunes, il n'y a donc que les verts qui puissent traverser les molécules bleues superficielles, et, parmi ceux réfléchis par les molécules profondes bleues, il n'y a également que les rayons verts qui puissent traverser les molécules jaunes superficielles. Le résultat devient donc une couleur verte, mélangée avec du blanc réfléchi par la surface.

108. Résultats des mélanges de couleurs. — *Newton* a imaginé sa table pour donner une représentation graphique des résultats qu'on obtient en mélangeant les couleurs. Le principe de cette table est que toutes les couleurs qu'on peut produire en mélangeant deux couleurs

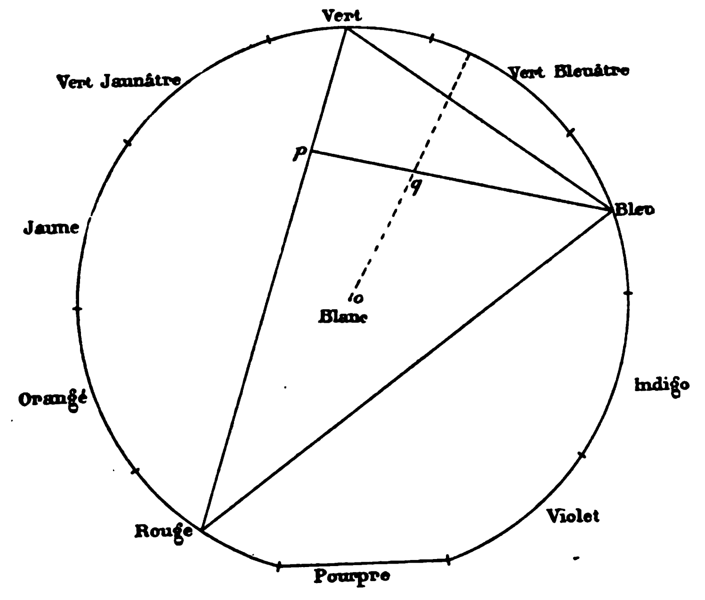


Fig. 159. — Table de couleurs, d'après *Newton*.

données sont placées sur la ligne droite qui joint ces deux couleurs, et d'autant plus près de l'une d'elles qu'il entre plus de cette couleur dans le mélange. La quantité de la couleur de mélange s'exprime par la somme des quantités des couleurs composantes. Supposons, par exemple, qu'on cherche le résultat du mélange de trois parties de vert avec une partie de rouge et deux parties de bleu. On commence par joindre le vert et le rouge par une ligne droite qu'on divise en deux par le point *p*

(fig. 159), de sorte que la distance de p au vert soit un tiers de sa distance au rouge ; p est alors l'endroit du mélange de vert et de rouge, mélange qui est représenté par le chiffre 4, la somme des deux composantes. On réunit ensuite le point p au bleu par une seconde ligne droite, qu'on divise en deux par le point q, de sorte que la distance pq est à la dtstance de q au bleu dans le rapport de deux à quatre ; q est l'endroit du mélange des trois couleurs, et la quantité de ce mélange s'exprime par le chiffre 6. En traçant la ligne oq, et en la prolongeant jusqu'à ce qu'elle coupe la courbe spectrale, on voit que la couleur de mélange est un vert bleuâtre fortement dilué de blanc.

Il entre dans cette représentation de *Newton* une expression qui n'est pas définie, celle de la *quantité* des couleurs. Tandis qu'il est facile de dire ce qu'il faut entendre par des quantités égales de la même couleur, il n'est pas facile de définir l'expression de quantités égales de deux couleurs différentes, ce qui fait que la forme de la courbe devient, jusqu'à un certain point, arbitraire. Avec *Newton*, il faut considérer comme égales les quantités de deux couleurs complémentaires qui, mélangées, donnent du blanc, puisque le blanc, sur sa table, est situé à égale distance des deux. Si l'on prend deux autres couleurs complémentaires, il faut aussi considérer comme égales les quantités de ces couleurs qui, mélangées, donnent du blanc, mais à la condition que ce blanc soit de même intensité que le premier. Comme nous le verrons, *Maxwell* et *v. Helmholtz* se sont servi d'autres définitions.

La table de *Newton* montre qu'à l'exception du pourpre on ne peut pas produire de nouvelles couleurs en mélangeant les couleurs spectrales, car on peut toujours, après avoir trouvé l'endroit de la couleur de mélange, tracer une ligne droite passant par le centre et ce point : prolongée, cette droite rencontrera une couleur spectrale, et la couleur de mélange est égale à cette couleur diluée de blanc.

La table de *Newton* indique aussi une autre particularité du sens chromatique normal, à savoir qu'*on peut reproduire tous les tons existants en mélangeant, deux à deux, trois couleurs choisies convenablement.* Choisissons, par exemple, le *rouge*, le *vert* et le *bleu*, et traçons sur la table (fig. 159) les lignes droites qui joignent ces couleurs. Si alors on choisit n'importe quelle couleur spectrale, on peut toujours la joindre au centre de la table par une ligne droite ; cette droite doit nécessairement couper un des côtés du triangle rouge-vert-bleu, et à l'endroit d'intersection se trouve le mélange, qui est pareil, comme ton, à la couleur spectrale. A cause de cette particularité, l'œil normal est dit *trichromate*.

Il faut bien remarquer que j'ai dit que les deux couleurs sont pareilles

comme ton. En général, elles ne sont pas pareilles comme saturation, la couleur de mélange étant diluée de blanc. La table de *Newton* exige même que la couleur spectrale soit toujours plus saturée, car, si l'on pouvait, en mélangeant deux couleurs spectrales, en reproduire exactement une troisième, ces trois couleurs devraient être placées sur une ligne droite et la courbe spectrale ne pourrait être circulaire. Mais cette dernière condition de la table ne se trouve pas remplie.

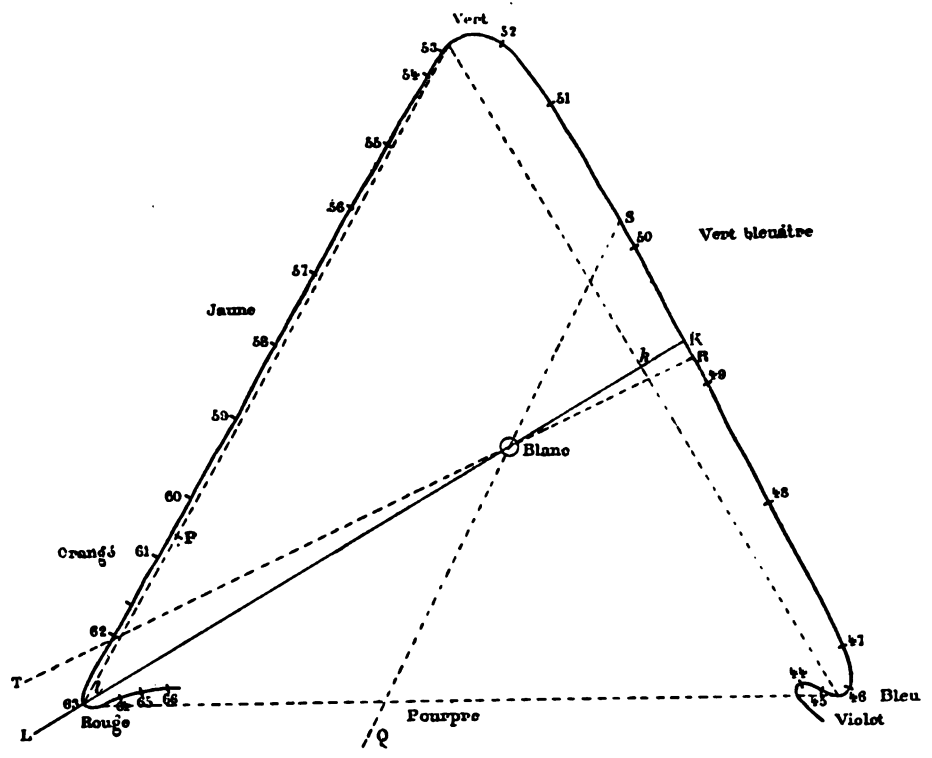


Fig. 160. — Table de couleurs de *Maxwell*.

L'exactitude de la représentation de *Newton* a, en effet, été vérifiée par les beaux travaux de *Maxwell*. Cet auteur a trouvé que la table de *Newton* donne une représentation très exacte des résultats des mélanges des couleurs, mais que les couleurs spectrales ne peuvent pas être rangées en un cercle, parce qu'il y a des parties assez étendues du spectre, dont les couleurs peuvent être reproduites exactement, ou presque exactement, par le mélange de deux couleurs données, et qui, par conséquent, doivent être placées sur des lignes droites.

La figure 160 montre la courbe spectrale de *Maxwell*. Tandis que la courbe de *Newton* ne doit être considérée que comme une simple conception de l'esprit, *Maxwell* a déterminé la sienne expérimentalement,

avec l'appareil décrit dans le chapitre précédent (fig. 161). Pour l'employer, il le plaçait dans une position telle que les fentes x, y, z et c étaient tournées vers une feuille de papier blanc éclairée par le soleil. Comme point de départ, il choisissait les trois couleurs suivantes (*standard colours*) :

	Rouge (R)	Vert (V)	Bleu (Bl)
Longueur d'onde :	0,630 μ	0,528 μ	0,457 μ

Il plaça les fentes x, y et z, de manière à donner accès à ces couleurs, et, en réglant la largeur des fentes, il produisit un mélange qui ne différa ni comme teinte, ni comme intensité, du blanc entré par la fente c.

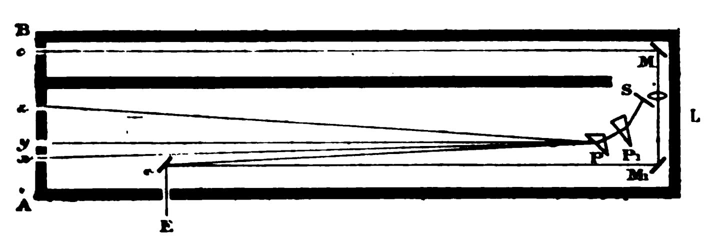


Fig. 161. — « Colour-box » de *Maxwell*.

En mesurant les fentes, il trouva pour x une largeur de $2^{mm},36$, pour y $3^{mm},99$ et pour z $3^{mm},87$, et, en désignant le blanc, qui restait constant pendant toutes les expériences, par W, il avait ainsi l'équation

$$2,36 \text{ R} + 3,99 \text{ V} + 3,87 \text{ Bl} = \text{W}.$$

Il déplaça ensuite la fente x, de manière à donner accès à de la lumière orangée ; en réglant les fentes, il produisit de nouveau un mélange pareil au blanc, ce qui lui donna l'équation

$$2,04 \text{ Or} + 3,25 \text{ V} + 3,88 \text{ Bl} = \text{W}.$$

Comme le blanc était le même dans les deux cas, on peut combiner les deux équations, ce qui donne

$$2,04 \text{ Or} + 3,25 \text{ V} + 3,88 \text{ Bl} = 2,36 \text{ R} + 3,99 \text{ V} + 3,87 \text{ Bl}$$

ou

$$2,04 \text{ Or} = 2,36 \text{ R} + 0,74 \text{ V} - 0,01 \text{ Bl}$$

ou encore

$$1 \text{ Or} = 1,155 \text{ R} + 0,362 \text{ V} - 0,006 \text{ Bl}.$$

Il répéta ensuite la mensuration pour les autres couleurs, en combinant toujours deux des *standard colours* avec la couleur en question, pour produire du blanc. Il réussit ainsi à exprimer toutes les couleurs du spectre par ces trois couleurs. Le tableau suivant montre les résultats de ses mensurations :

COULEUR	QUANTITÉ	LONGUEUR D'ONDE		ROUGE		VERT		BLEU	SOMME	UNITÉ
Rouge.	5,63	(663)	=	2,36	+	0,05	+	0,36	2,77	2,032
	2,36	(630)	=	2,36	+	0,00	+	0,00	2,36	1
Orangé.	2,04	(606)	=	2,36	+	0,74	—	0,01	3,09	0,662
	2,79	(583)	=	2,36	+	2,45	—	0,01	4,80	0,582
Jaune.	3,20	(562)	=	1,55	+	3,99	—	0,10	5,43	0,589
	3,30	(544)	=	0,42	+	3,99	—	0,03	4,38	0,754
Vert	3,99	(528)	=	0,00	+	3,99	+	0,00	3,99	1
	5,26	(513)	=	— 0,33	+	3,99	+	0,44	4,10	1,282
	7,87	(500)	=	— 0,43	+	3,99	+	2,22	5,77	1,363
	7,83	(488)	=	— 0,39	+	2,67	+	3,87	6,15	1,275
Bleu	5,14	(477)	=	— 0,24	+	0,98	+	3,87	4,61	1,116
	4,28	(467)	=	— 0,14	+	0,14	+	3,87	3,87	1,105
Indigo	3,87	(457)	=	0,00	+	0,00	+	3,87	3,87	1
	4,10	(449)	=	0,08	+	0,03	+	3,87	3,98	1,032
	5,59	(441)	=	0,14	+	0,09	+	3,87	4,10	1,362
Violet.	8,09	(434)	=	0,04	—	0,23	+	3,87	3,68	2,197

En divisant chaque équation par le coefficient à gauche, on obtient l'expression correspondant à la largeur de la fente de 1 millimètre.

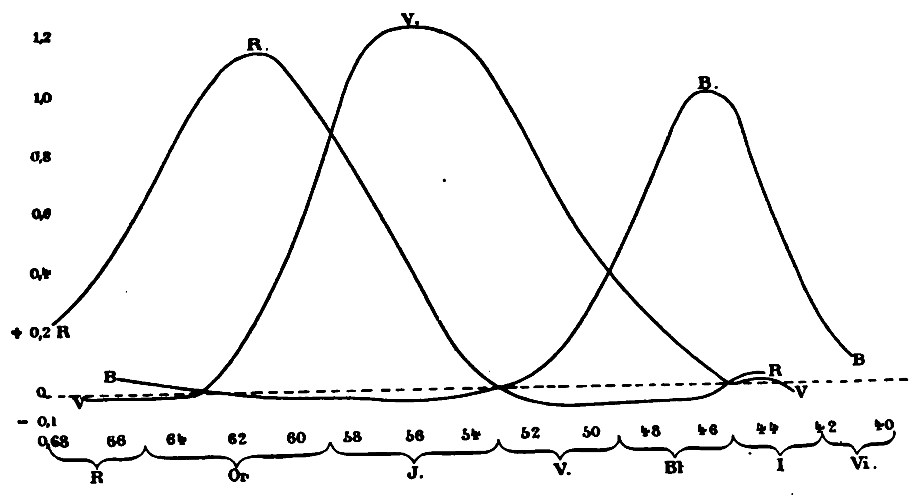


Fig. 162. — Courbes de couleurs de *Maxwell*.

Sous cette forme le résultat se trouve exprimé sur la figure 162. Les trois courbes, désignées par R, V, B, correspondent aux trois *standard*

colours; les chiffres en bas sont les longueurs d'onde des différentes couleurs du spectre, et la position des trois points, dans lesquels les courbes coupent la ligne verticale correspondant à chacune des couleurs, indique les quantités des trois *standard colours* qu'il faut pour produire le mélange.

Le signe négatif du bleu, dans l'équation de l'orangé, se retrouve pour la plus grande partie des couleurs ajoutées à l'une ou à l'autre des *standard colours*. Sa signification est facile à saisir. En effet, si l'on écrit l'équation de l'Orangé ainsi :

$$2{,}04 \text{ Or} + 0{,}01 \text{ Bl} = 2{,}36 \text{ R} + 0{,}74 \text{ V}$$

elle indique qu'on ne peut pas, avec les trois *standard colours*, produire un mélange exactement pareil à l'orangé, mais qu'il faut, au contraire, ajouter un peu de bleu à l'orangé, pour qu'il soit pareil au mélange de rouge et de vert.

Il faut remarquer que, jusqu'à présent, j'ai simplement exprimé la quantité d'une couleur par la largeur en millimètres de la fente donnant accès à cette couleur. Pour construire la table de couleurs, on en fait de même pour les trois *standard colours ;* mais, pour les autres couleurs, on sera obligé de choisir les unités d'une autre manière. J'ai en effet dit qu'avec *Newton* on considère la quantité d'un mélange comme égale à la somme des quantités des couleurs composantes. La somme des trois composantes de l'orangé était

$$2{,}36 + 0{,}74 - 0{,}01 = 3{,}09$$

tandis que la largeur de la fente était de $2^{mm},04$. D'après *Newton*, la quantité de l'orangé passant par la fente de $2^{mm},04$ est donc 3,09, c'est-à-dire que l'unité de l'orangé correspond à une largeur de la fente de $\frac{2{,}04}{3{,}09} = 0^{mm},662$.

Si l'on veut se servir de la table pour résoudre des questions de mélanges de couleurs, il faut donc multiplier les quantités trouvées par la table avec les chiffres indiquant les unités, pour obtenir un résultat exprimé par la largeur de la fente en millimètres. Les unités se trouvent inscrites dans la dernière colonne du tableau. Elles sont obtenues en divisant les coefficients à gauche par les chiffres de l'avant-dernière colonne, lesquelles indiquent la somme des composantes.

Pour construire la courbe spectrale, on commence par tracer le triangle équilatéral pointillé de la figure 163. On se figure les trois *standard colours* placées aux trois sommets, disposition qui a été proposée par *Young*. Pour trouver l'endroit de l'orangé, on commence par diviser le côté rouge-vert en deux parties, dans le rapport de 0,73 : 2,36. Soit P le point de division : joignons ce point avec le

sommet bleu, par une ligne droite dont on mesure la longueur a. La couleur en P peut être considérée, soit comme un mélange de 2,36 R avec 0,73 V, soit comme un mélange de 3,09 Or avec 0,01 Bl. Il en résulte que l'Orangé doit être placé sur le prolongement de a, au delà du point P, et, en désignant sa distance de P par x, on doit avoir $x = \frac{0,01}{3,09} a$. Cette distance est, pour l'orangé, si petite, qu'elle n'est guère visible sur la figure, la courbe coïncidant presque à cet endroit avec la ligne pointillée.

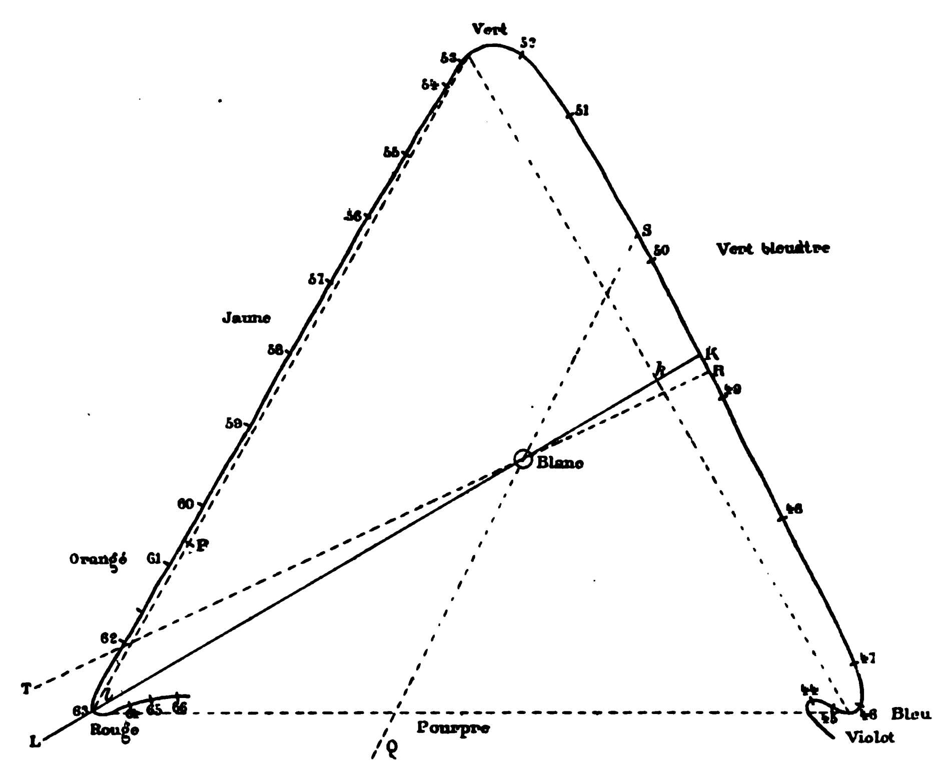


Fig. 163. — Table de couleurs de *Maxwell*.

— On remarque que, par suite de la présence du coefficient négatif, la couleur en question doit être placée en dehors du triangle. Une couleur qui est située dans l'intérieur du triangle peut être reproduite exactement par un mélange des trois *standard colours*; ce qui n'est pas possible pour une couleur située en dehors du triangle : il faut, au contraire, la mélanger avec l'une des *standard colours*, pour qu'elle semble égale au mélange des deux autres.

Sur la table de *Maxwell* la plus grande partie du spectre (de 0,63 μ dans le rouge orangé à 0,53 μ dans le vert et de 0,51 μ dans le vert à 0,47 μ dans le bleu) est rangée sur les deux côtés d'un triangle dont le

vert, entre 0,53 μ et 0,51 μ, forme le sommet arrondi, tandis que les extrémités du spectre forment les deux autres sommets, un peu irréguliers. Il faut se figurer le troisième côté de ce triangle occupé par les couleurs pourpres qu'on obtient en mélangeant du rouge avec du bleu. Comme presque toutes les couleurs spectrales ont un des coefficients négatifs, presque toute la courbe est située en dehors du triangle des *standard colours*, ce qui indique que les couleurs de mélange sont presque toutes un peu moins saturées que les couleurs spectrales. La partie située entre le rouge et le vert est pourtant très près de coïncider avec le côté correspondant. En choisissant une autre *standard colour* verte, on aurait pu faire coïncider la partie de la courbe située entre 0,51μ et 0,47μ avec l'autre côté du triangle, mais il est facile de voir qu'on ne peut pas choisir la couleur verte de manière à faire coïncider les deux côtés à la fois avec la courbe. *On ne peut donc pas choisir trois couleurs spectrales*, telles que l'on puisse *reproduire toutes les autres couleurs spectrales exactement par leurs mélanges;* on peut bien reproduire tous les tons, mais quelques-unes des couleurs de mélange restent toujours moins saturées que les couleurs spectrales correspondantes, quelque soient les *standard colours* que l'on choisisse.

Au moyen de la table de Maxwell on peut construire le résultat de mélanges de n'importe quelles couleurs. Si l'on mélange deux couleurs placées sur le même côté de la courbe approximativement triangulaire, on obtient une couleur de mélange qui est aussi saturée que la couleur spectrale, tandis que si l'on mélange deux couleurs situées chacune sur un côté différent, on obtient un mélange fortement dilué de blanc. Les trois couleurs que *Maxwell* a choisies comme *standard colours*, le *rouge*, le *vert* et le *bleu*, ont donc ceci de particulier, qu'elles *ne peuvent pas être reproduites en mélangeant d'autres couleurs spectrales*, le mélange étant toujours fortement dilué de blanc. — La forme approximativement triangulaire de la courbe, avec les trois couleurs, rouge, vert et bleu placées aux sommets, ne dépend pas du choix des *standard colours*. Au moyen des équations de *Maxwell*, on peut, par un simple calcul, exprimer toutes les couleurs spectrales par trois couleurs autres que ses *standard colours*, par exemple par l'orangé, le vert-bleu et le bleu. La courbe garde quand même sa forme approximativement triangulaire ayant le rouge, le vert et le bleu aux sommets, mais elle s'écarte beaucoup du triangle équilatéral formé par les droites joignant les trois nouvelles *standard colours*, ce qui indique que les couleurs de mélange sont en ce cas très peu saturées. *Maxwell* choisissait le rouge, le vert et le bleu pour que la courbe se rapprochât autant que possible du triangle.

Contrairement à ce qui a lieu pour ces trois couleurs, celles qui sont placées sur chacun des deux côtés de la courbe triangulaire peuvent être reproduites exactement en mélangeant d'autres couleurs spectrales. Elles sont à cet égard analogues aux couleurs pourpres qu'on obtient en mélangeant le rouge et le bleu spectral et qui paraissent à l'œil aussi saturées que les couleurs spectrales pures.

Le phénomène le plus curieux, parmi le grand nombre de faits qui se trouvent exprimés par la table de *Maxwell*, est certainement qu'on puisse produire la sensation parfaite du jaune en mélangeant du rouge et du vert. Le fait était déjà connu de *Young* et forme la base principale de sa théorie de la vision des couleurs, que je mentionnerai plus loin. *Lord Rayleigh* a construit un appareil spécial pour déterminer les quantités de rouge spectral et de vert spectral qu'il faut pour produire une égalité complète avec le jaune spectral. Dans ses nombreux examens, toujours il pouvait obtenir une égalité parfaite, mais, pour ce qui est des quantités requises des composantes, il trouva des différences individuelles tout à fait inattendues (voir p. 241). On peut aussi mélanger de la lumière des flammes de lithium et de thallium, de manière à obtenir une lumière qu'on ne peut pas distinguer de celle de la flamme de sodium. Une autre méthode également indiquée par *Lord Rayleigh* consiste à regarder à travers un liquide qui ne laisse passer que des rayons rouges et verts (un mélange de bichromate de potassium et de bleu d'aniline, dissous dans l'eau). En observant à travers ce liquide un objet d'un blanc brillant, un nuage éclairé par le soleil par exemple, il paraît d'un jaune pur, quoique tous les rayons jaunes soient complètement absorbés. — Le liquide est du reste très sensible aux teintes de la lumière blanche ; la lumière du ciel bleu, qui contient trop peu de rouge, paraît verdâtre, tandis que la lumière de la lampe à arc paraît rougeâtre.

Le jaune occupe une position spéciale entre les couleurs. Un observateur complètement ignorant des résultats des mélanges — aussi bien de ceux des physiciens, qui obtiennent du jaune en mélangeant du rouge et du vert spectral, que de ceux des peintres qui, avec leurs pigments, obtiennent du vert en mélangeant du jaune avec du bleu — serait probablement tenté de ranger le jaune parmi les trois *standard colours* de *Maxwell*, de façon à compter quatre couleurs principales dans le spectre : le rouge, le jaune, le vert et le bleu. Comme nous l'avons vu, le jaune se distingue des trois autres en ce qu'il peut être reproduit par un mélange d'autres couleurs. A cet égard, il est analogue aux couleurs qui se trouvent placées sur les autres côtés du triangle, le pourpre et le vert-bleu, mais il se distingue de celles-ci en ce que l'œil ne perçoit aucune trace du rouge ou du vert dans le jaune, tandis que personne

n'hésiterait à déclarer qu'il voit du bleu et du rouge dans le pourpre ou du vert et du bleu dans le vert-bleu. Le jaune se rapproche à cet égard du blanc, dans lequel l'œil ne distingue non plus aucune trace des composantes. Le jaune est aussi celle des couleurs spectrales qui, à l'œil, semble offrir le plus de ressemblance avec le blanc. — Une autre particularité du jaune, sur laquelle *Herschel* a insisté, est le changement considérable que subit cette couleur lorsque son intensité baisse. Un bleu sombre semble encore bleu, tandis qu'un jaune sombre paraît brun, couleur qu'un observateur non prévenu considérerait plutôt comme une couleur spéciale.

On peut obtenir l'impression du *blanc* de beaucoup de manières différentes. La célèbre expérience par laquelle *Newton* réunissait au moyen d'une lentille tous les rayons colorés du spectre en une image blanche montre d'abord que toutes les couleurs du spectre, mélangées, donnent du blanc. Les équations de *Maxwell* fournissent une longue série d'exemples de la possibilité de former du blanc en mélangeant trois couleurs. La table indique enfin un grand nombre de paires de couleurs complémentaires, c'est-à-dire de couleurs qui, mélangées deux à deux dans des proportions convenables, donnent du blanc. Pour trouver la couleur complémentaire à une couleur donnée, on n'a qu'à prolonger la ligne qui la joint au blanc, jusqu'à ce qu'elle rencontre de nouveau la courbe. Le point d'intersection est la place de la couleur complémentaire, et les quantités à prendre des deux couleurs sont inversement proportionnelles à leurs distances du blanc. Il faut pourtant se rappeler que, si l'on veut exprimer la quantité par la largeur de la fente en millimètres, on doit réduire les chiffres de la manière déjà indiquée.

Un coup d'œil sur la table montre que les couleurs vertes (verdâtres) de 57 à 49,5 n'ont pas de complémentaires dans le spectre. Leurs complémentaires sont les couleurs pourpres. Les complémentaires de l'extrémité rouge jusqu'à 61 sont situées très près les unes des autres (de 49,5 à 49,2), celles de l'extrémité bleue sont entassées près de 57. Le ton varie donc très lentement vers les extrémités du spectre, tandis que la variation atteint sa plus grande rapidité dans le vert-bleu, où les divisions sont séparées par des intervalles très marqués.

Maxwell n'a pas déterminé les parties extrêmes du spectre ; on pourrait donc croire que la courbe devait en réalité être plus étendue ; mais, suivant les recherches de *Kœnig* et *Dieterici*, ce n'est pas le cas. Ces auteurs ont fait une longue série de recherches très minutieuses, dans le genre de celles de *Maxwell*, avec leur grand appareil spectral. Leurs résultats semblent bien concorder avec ceux de ce dernier auteur ; cependant, ils n'ont pas pu constater le crochet que fait la courbe de *Maxwell* dans le

rouge. D'après ces auteurs, le ton ne varie pas dans le spectre au delà de 67 et de 43, de sorte que les divisions au delà de ces limites doivent sur la table coïncider avec celles-ci. *Maxwell* signale du reste lui-même la forme des extrémités de la courbe comme un peu douteuse.

Si l'on compare des quantités complémentaires de rouge et de vert-bleu, on remarque que le rouge paraît plus sombre que le vert. Pour représenter les faits de ce genre sur la table, *v. Helmholtz* admettait comme quantités égales de deux couleurs différentes des quantités paraissant avoir le même éclat. Il obtenait ainsi la courbe spectrale représentée par la figure 164. Le petit cercle indique l'endroit du blanc.

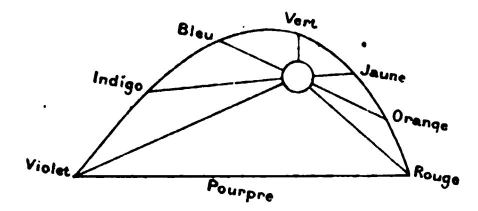


Fig. 164. — Table de couleurs de *v. Helmholtz*.

Puisque le rouge complémentaire au vert-bleu paraît plus sombre que celui-ci, il considérait sa quantité comme plus petite et le plaçait par conséquent plus loin du blanc. Une telle comparaison de l'éclat de deux couleurs différentes n'est pas du reste facile, comme *v. Helmholtz* le fait remarquer lui-même, et le résultat dépend en outre du phénomène de *Purkinje*. Si, par exemple, une certaine quantité A de lumière jaune paraît avoir le même éclat que la quantité B de lumière bleue, on trouve que la quantité $\frac{A}{2}$ de lumière jaune paraîtra plus sombre que la quantité $\frac{B}{2}$ de lumière bleue. La forme de la courbe varierait donc suivant l'intensité employée.

Maxwell a montré comment, à défaut d'un appareil spectral, on peut faire des déterminations analogues aux siennes au moyen du disque tournant de *Masson*. Il faut avoir des disques de papier (colorés, blancs et noirs) de deux grandeurs différentes, de manière à pouvoir exécuter deux mélanges à la fois, en couvrant la partie centrale des grands disques avec les petits.

On fend les disques le long d'un rayon, pour pouvoir les combiner de manière à obtenir des secteurs colorés de n'importe quel angle. On choisit trois *standard colours*, le rouge, le vert et le bleu, et on combine trois grands disques, de manière à avoir un secteur de chaque couleur. Au milieu on place deux petits disques combinés de façon à avoir un secteur noir et un secteur blanc. En faisant tourner le tout, on

obtient au milieu un cercle gris, entouré d'un anneau teinté du mélange des trois *standard colours*. En réglant les angles des secteurs, on rend les deux teintes pareilles, et on écrit l'équation ainsi :

$$165\ R + 122\ V + 73\ Bl = 100\ W + 260\ N \quad (\textit{Aubert})$$

W désigne le blanc, N le noir, et les chiffres indiquent les angles des secteurs. En négligeant le peu de lumière réfléchie par le noir, on peut écrire :

$$165\ R + 122\ V + 73\ Bl = 100\ W.$$

Pour exprimer une autre couleur, le jaune par exemple, par les *standard colours*, on remplace le secteur rouge par un secteur de cette couleur. En réglant la grandeur des secteurs, on trouve par exemple :

$$146\ J + 17\ V + 197\ Bl = 159\ W + 201\ N$$

ou, en divisant par 1,59,

$$92\ J + 11\ V + 124\ Bl = 100\ W.$$

On combine ensuite cette équation avec celle des *standard colours*, ce qui donne

$$92\ J + 11\ V + 124\ Bl = 165\ R + 122\ V + 73\ Bl$$

ou

$$1\ J = 1{,}97\ R + 1{,}21\ V - 0{,}55\ Bl.$$

Avec ces équations on peut construire des représentations graphiques dans le genre des figures 160 et 162, et, en opérant toujours avec les mêmes sortes de papiers, on peut ainsi étudier et comparer le sens chromatique de différents yeux ; mais la méthode spectrale reste toujours supérieure.

109. Trichromasie abnorme. — Si l'on examine un certain nombre de personnes d'après la méthode de *Maxwell*, en construisant la table de couleur de chaque personne on constate souvent de petites différences : un mélange qu'un observateur déclare pareil au blanc semble à un autre légèrement teinté. Il est probable que ces différences tiennent, au moins pour la plupart, à ce qu'une partie des rayons est absorbée par les milieux de l'œil et que cette absorption est plus prononcée chez certains sujets que chez d'autres. C'est ainsi que la couleur jaunâtre du cristallin des vieillards indique qu'il doit absorber une partie des rayons bleus. Un mélange de jaune et de bleu, qui paraît égal au blanc à une personne normale, doit paraître jaunâtre au vieillard, dont le cristallin absorbe relativement plus de la lumière du mélange que de la lumière blanche. Après l'extraction d'une cataracte, le malade accuse souvent,

au premier moment, voir tout bleu, à peu près comme tout paraît teinté de la couleur complémentaire lorsqu'on a regardé pendant un peu de temps à travers un verre coloré et qu'on l'enlève subitement. Quelques-uns des phénomènes en question semblent dus à l'absorption des rayons vert-bleus dans le pigment jaune de la macula. *Maxwell* semble avoir eu ce pigment très développé ; en regardant une ligne brillante à travers un prisme, il observa une tache sombre, correspondant à la fovea, qui montait et descendait avec le regard, tant que celui-ci restait dans la partie bleue du spectre, mais qui disparaissait aussitôt que le regard sortait du bleu. Il recommande aussi, pour observer le phénomène, de fixer un papier jaune pendant un peu de temps et de porter ensuite le regard sur un papier bleu. La tache apparaît alors pendant quelques instants. En prenant deux blancs égaux, l'un constitué par la lumière blanche ordinaire, l'autre par un mélange composé en grande partie de rayons vert bleu, celui-ci, vu en vision indirecte, semblait verdâtre et plus lumineux que le premier. La table de couleur de Maxwell lui-même semble aussi présenter quelques différences avec celle de Madame *Maxwell*, représentée figure 160, différences qui pourraient bien être dues à l'absorption en question. Les phénomènes semblent surtout prononcés chez des personnes brunes ; j'ai répété ces expériences sans succès.

En négligeant ces petites différences, *une équation de couleur qui est vraie pour un œil normal reste vraie pour tous les yeux, aussi bien pour les yeux normaux que pour les yeux dichromates.*

Cette dernière assertion a été considérée comme tout à fait générale, jusqu'à ce que *Lord Rayleigh*, en 1880, découvrît une classe d'yeux pour lesquels elle ne se vérifie pas. Après avoir produit un mélange de rouge spectral et de vert spectral qui lui parût identique au jaune spectral, il demanda à un certain nombre de personnes de comparer les deux teintes. La plupart les trouvèrent identiques, mais quelques-unes, parmi lesquelles ses trois beaux-frères, déclarèrent n'y voir presque aucune ressemblance ; la couleur pure leur parut jaune, tandis que la couleur composée leur semblait presque aussi rouge que de la cire à cacheter. Pour voir les deux teintes pareilles, ces personnes ajoutèrent tant de vert au mélange, qu'il parut presque vert pur à un œil normal. Le mélange de *Lord Rayleigh* était 3,13 R + 1,00 V, celui de son beau-frère 1,5 R + 1,0 V[1].

---

(1) Les chiffres ne sont pas comparables à ceux de *Maxwell*, *Lord Rayleigh* ayant probablement employé des couleurs différentes des *standard colours*. Autrement, *Maxwell* et *Madame Maxwell* auraient tous les deux appartenu à la catégorie de la trichromasie abnorme, ce qui semble peu probable.

Les personnes en question ne présentaient pas d'autres anomalies du système chromatique ; elles n'étaient nullement dichromates (*daltonistes*). Des recherches ultérieures (*Donders*, *Kœnig* et *Dieterici*) ont confirmé l'opinion de *Lord Rayleigh* que ces personnes forment un groupe à part : on n'a pas trouvé de formes intermédiaires entre leur anomalie, que *Kœnig* a désignée sous le nom de *trichromasie abnorme*, et le système chromatique normal. L'anomalie semble presque aussi fréquente que le daltonisme ; *Kœnig* et *Dieterici* en ont trouvé trois cas parmi soixante-dix personnes examinées. On ne connaît pas de cas où l'anomalie ait été découverte par la personne même qui en était atteinte.

110. Daltonisme (Dichromasie). — La forme la plus répandue de dyschromatopsie est dite *daltonisme*, d'après le célèbre chimiste anglais *Dalton*, qui en était atteint et qui en a donné la première description un peu exacte. On compte qu'environ 4 p. 100 des hommes sont atteints de cette anomalie ; elle est beaucoup plus rare chez les femmes, surtout dans sa forme complète.

Pour les daltonistes, il y a dans le spectre un endroit, dans le vert-bleu, dont la couleur est pareille au blanc (gris). On désigne cet endroit sous le nom de *point neutre*. Au lieu de la grande variation que l'œil normal aperçoit dans le spectre, les daltonistes n'y voient que deux couleurs : l'une qu'ils désignent le plus souvent comme jaune, et qui remplit toute la partie située entre le point neutre et l'extrémité rouge, et l'autre qu'ils nomment bleue, et qui s'étend du point neutre jusqu'à l'extrémité violette. Dans toute la partie qui appartient à l'une ou à l'autre des couleurs le ton ne change pas ; il n'y a que des différences de saturation et d'intensité. La couleur dite jaune leur semble pure dans le rouge, l'orangé, le jaune et le vert, jusqu'à environ 0,54 μ ou 0,53 μ, près de la raie E. Dans toute cette partie, il n'y a que des différences d'intensité ; on peut rendre une de ces couleurs pareille à n'importe quelle autre en changeant l'intensité. Le rouge et l'orangé du spectre sont souvent si faibles, qu'ils ne sont pas aperçus, à moins que le spectre ne soit très vif. A partir de la ligne E, la couleur devient de plus en plus grisâtre, et au point neutre, dans les environs de 0,50 μ (v. fig. 165), la couleur est pareille au gris. L'intensité baisse en même temps ; en général, les daltonistes indiquent que les parties situées près du point neutre sont plus sombres que celles situées à quelque distance. Il est possible que cette diminution d'intensité tienne à ce que le point neutre est situé dans la partie vert-bleue du spectre, dont les rayons subissent le plus l'influence de l'absorption dans le pigment jaune de la macula, phénomène qui semble souvent très prononcé chez

les daltonistes. A partir du point neutre, l'autre couleur, dite bleue, commence à se faire sentir ; de plus en plus saturée, elle devient pure à 0,46 μ environ et n'offre, à partir de ce point, que des différences d'intensité ; le maximum se trouve à peu près à l'endroit où la couleur devient pure.

Les daltonistes ne voient donc, dans le spectre, que deux couleurs, mais il est difficile de dire lesquelles. S'ils désignent les couleurs comme jaune et bleue, ce n'est pas un signe certain que les couleurs spectrales leur donnent les mêmes impressions que celles que nous obtenons par le jaune et le bleu. En général, il est impossible de communiquer à quelqu'un la nature d'une sensation qu'on éprouve autrement que par une comparaison. Si, par exemple, un homme dit à un autre qu'un objet a un goût sucré, cela ne veut pas dire autre chose que ceci, que l'objet lui donne une sensation pareille à celle que lui donnerait le sucre. L'autre peut alors vérifier s'il trouve aussi que le goût de l'objet est pareil à celui du sucre, et s'il le trouve, il dira que le premier a le goût normal ; mais il est impossible de dire si l'objet a le même goût pour les deux. — Comme on ne peut pas savoir comment les daltonistes voient les couleurs, *Donders* a proposé de remplacer pour eux les expressions de couleurs jaunes et bleues par celles de couleurs chaudes et froides, termes qui sont en usage parmi les peintres.

Il est pourtant à remarquer que, tandis que, dans tous les autres cas connus, le daltonisme était bilatéral, il existe dans la littérature un cas unique de daltonisme monolatéral ; il est clair qu'un tel malade serait bien en état de donner des renseignements sur la question de savoir comment les daltonistes voient les couleurs. Le cas a été très bien étudié par *v. Hippel*. L'œil gauche était normal, tandis que l'œil droit, qui louchait, mais qui avait été opéré et ne présentait aucune lésion ophtalmoscopique, montrait une anomalie tout à fait analogue au daltonisme ordinaire. Le point neutre (situé à 0,512 μ) divisait le spectre en une partie jaune et une partie bleue. Le rouge et le vert du spectre étaient, comme ton, pareils au jaune, mais paraissaient un peu moins intenses. Or, en regardant la raie jaune du sodium alternativement avec l'un et avec l'autre œil, le sujet déclara que l'aspect était le même pour les deux yeux, à part une petite diminution d'intensité pour l'œil daltoniste. Il en était de même pour la raie bleue d'indium, ainsi que pour le blanc. Si donc on peut considérer le cas de *v. Hippel* comme un cas de vrai daltonisme, la question semble élucidée. Les sensations que les daltonistes désignent comme jaune et bleu seraient identiques à celles des personnes normales.

Comme les daltonistes reconnaissent les équations des yeux nor-

maux, les couleurs qui sont complémentaires pour des yeux normaux le sont aussi pour eux. Il en résulte que la couleur complémentaire au point neutre doit aussi leur paraître grise (ou être invisible), ainsi que toutes les couleurs situées sur le diamètre de la table qui les réunit. Comme les couleurs voisines du point neutre paraissent fortement mélangées de blanc, leurs complémentaires, tant qu'elles se trouvent dans le spectre, doivent paraître très peu intenses, puisqu'ils ne doivent

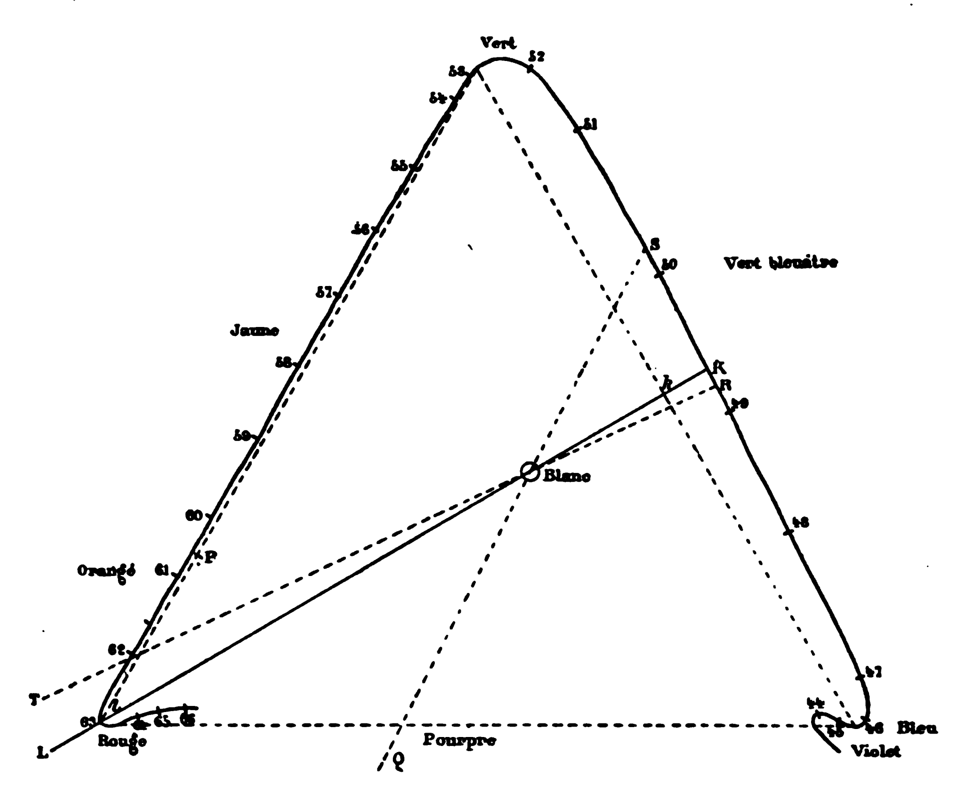


Fig. 165. — Table de couleurs de *Maxwell*.

neutraliser que le peu de valeur chromatique qui se trouve dans ces couleurs grisâtres.

Tandis qu'une équation de couleurs qui est vraie pour un œil normal, l'est aussi pour les daltonistes, l'inverse n'est pas vrai : les daltonistes reconnaissent comme pareils des mélanges qui ne le sont nullement pour un œil normal. Pour un daltoniste, on peut reproduire l'impression de n'importe quelle couleur du spectre, ainsi que celle du blanc, par des mélanges de *deux* couleurs. A cause de cette particularité, l'anomalie en question est aussi désignée comme *dichromasie*.

Maxwell se servait de deux de ses *standard colours*, les couleurs verte et bleue. Il trouva ainsi, pour un étudiant daltoniste, l'équation.

$$4{,}28\ V + 4{,}20\ Bl = W.$$

La position de cette couleur de mélange est marquée sur la table (fig. 165) par la lettre *k;* la lettre K indique la couleur spectrale corres pondante, qui est le point neutre. Comme les daltonistes reconnaissent les équations des yeux normaux, on peut combiner cette équation avec celle de l'œil normal (page 232).

$$2{,}36\ R + 3{,}99\ V + 3{,}87\ Bl = W.$$

On aurait donc, pour le daltoniste,

$$2{,}36\ R + 3{,}99\ V + 3{,}87\ Bl = 4{,}28\ V + 4{,}20\ Bl,$$

équation qu'on peut aussi écrire

$$L = 2{,}36\ R - 0{,}29\ V - 0{,}33\ Bl = 0.$$

Cette dernière couleur ne produirait donc aucune impression sur l'œil daltoniste et représenterait jusqu'à un certain point l'élément qui lui manque. Sa place est marquée par la lettre L sur la table (fig. 165). Comme L est situé en dehors de la courbe spectrale, c'est une couleur fictive, qui n'existe pas en réalité, mais qu'il faut se figurer plus saturée encore que la couleur spectrale correspondante qui est marquée *l*, puisqu'elle est située plus loin du blanc que celle-ci. Comparé avec L, *l* est déjà à considérer comme mélangé de blanc. Aussi n'est-il pas tout à fait invisible, mais très faible.

Pour son daltoniste, *Maxwell* réussissait à reproduire toutes les couleurs du spectre par des mélanges de ses deux *standard colours*. Les résultats sont représentés par les courbes de la figure 166. Il serait du reste plus simple de choisir deux couleurs qui paraissent pures aux daltonistes, comme *van der Weyde* et dernièrement *Koenig* et *Dieterici* l'ont fait. La couleur verte de *Maxwell* semblait au daltoniste un peu mélangée de gris, comme le montrent les courbes.

Sur la table de couleurs tout le système chromatique des daltonistes se réduit à une ligne droite (fig. 167), puisque toutes les couleurs qu'on peut produire en mélangeant deux couleurs données doivent être placées sur la ligne droite qui les réunit. La ligne même ne correspond qu'à la partie du spectre où les couleurs sont vues mélangées de blanc, car toutes les parties où les couleurs semblent pures doivent se réunir dans les deux points qui forment les extrémités de la ligne.

En examinant une série de daltonistes, on remarque que la position du point neutre n'est pas exactement la même chez tous. Elle varie chez

111. Monochromasie. — Il existe encore une anomalie du sens chromatique, qui est très rare, mais, à ce qu'il semble, bien constatée, la *monochromasie*. Tandis que le daltonisme n'implique aucune autre abnormité, les yeux monochromates offrent tous d'autres signes de faiblesse : photophobie, albinisme, diminution de l'acuité visuelle, etc. Pour ces personnes, les différences de couleur n'existent pas ; les seules différences qu'elles perçoivent sont des différences d'intensité, à peu près comme sur une gravure. Toute la table de couleurs se rétrécit en un point. Le spectre leur paraît simplement une bande lumineuse, dont l'intensité a son maximum, non dans le jaune, comme c'est le cas avec l'œil normal, mais dans le vert (à 0,52 μ environ). *Hering* a insisté sur l'analogie qui existe entre la manière dont les monochromates voient le spectre et l'aspect qu'il offre à l'œil normal, lorsque son intensité est très faible.

112. Examen clinique du sens chromatique. — La méthode des mélanges de couleurs forme l'examen fondamental du sens chromatique, et on ne peut guère s'en passer si l'on veut se former une idée exacte du système chromatique de la personne qu'on observe ; mais la méthode est trop compliquée pour l'usage clinique, et elle est en outre complètement subordonnée à la bonne volonté de la personne qu'on examine. Pour le clinicien, il est important de pouvoir décider rapidement et sûrement si son client est daltoniste on non. Dans ce but, on a inventé différentes méthodes.

Il est d'abord à remarquer qu'on n'obtient que peu de renseignements utiles en demandant à un daltoniste comment il désignerait la couleur de tel ou tel objet. Si on lui présente du rouge, par exemple, il peut très bien arriver qu'il désigne cette couleur comme rouge, quoiqu'il ne la voie pas différente de certains verts.

La méthode la plus employée est l'épreuve avec les laines colorées (*Holmgren*). On présente au sujet la nuance verte la moins saturée et on lui prescrit de chercher les nuances qui ressemblent à celle-ci, en ajoutant qu'elles peuvent être un peu plus ou moins foncées. Outre les nuances vertes, le daltoniste assortit des gris jaunes, des gris bruns, des gris rouges et des gris purs. On lui présente ensuite le *pourpre saturé*. C'est ici que se montrerait la prétendue différence entre les deux espèces de daltonistes. Une personne atteinte d'anerythropsie trouverait que les nuances bleues et violettes ressemblent au pourpre saturé, tandis qu'une personne atteinte d'achloropsie choisirait les nuances vertes et grises. Les individus qui n'ont qu'un daltonisme incomplet réussissent la dernière épreuve, mais pas la première. *Kren-*

chel, *Daae* et d'autres ont disposé les laines colorées en tableaux ; *Cohn* emploie des poudres colorées ; *Seebeck*, qui a inventé la méthode, employait des papiers colorés.

Sur les tables de *Stilling* sont disposées un grand nombre de taches de deux couleurs, choisies de manière à être vues pareilles par le daltoniste. Il y a par exemple sur une feuille des taches complémentaires rouges et vertes : les rouges sont disposées entre les vertes, de manière à former des chiffres visibles à l'œil normal, mais invisibles à l'œil daltoniste qui voit toutes les taches de la même couleur. Les tables de *Stilling* ne semblent pas très bonnes ; il paraît qu'il y a des daltonistes qui les lisent et des yeux normaux qui ne les lisent pas. Les tables de *Pflüger*, que j'ai déjà mentionnées, sont préférables ; elles sont basées sur un phénomène de contraste. Le malade regarde une feuille pourpre sur laquelle sont imprimées des lettres grises ; le tout est couvert d'un papier de soie. Un œil normal voit le fond pourpre à travers le papier de soie, et lit facilement les lettres qui apparaissent par contraste dans la couleur complémentaire. Le daltoniste voit le fond gris comme les lettres, de sorte qu'il ne peut pas distinguer ces dernières.

On peut s'assurer que l'anomalie n'est pas simulée en faisant regarder à travers un verre coloré. Si le malade confond un vert et un rouge, il ne doit plus les confondre en regardant à travers un verre rouge, car, les rayons verts ne traversant pas ce verre, le vert doit lui paraître bien plus sombre que le rouge. Les daltonistes qui ont besoin de pouvoir distinguer des couleurs, les chimistes par exemple, peuvent quelquefois se servir avec avantage d'un verre coloré, qui les met en état de distinguer entre deux couleurs qu'ils confondent autrement.

On a employé des appareils de polarisation pour découvrir le daltonisme ; *Rose* a construit le premier appareil de ce genre ; le leucoscope de *Kœnig* est fondé sur le même principe. Le meilleur de ces appareils est le chromatoptomètre de *Chibret*. Si l'on place une plaque de quartz, taillée parallèlement à l'axe, entre deux Nicols parallèles à celui-ci, on voit la plaque teinte d'une certaine couleur qui dépend de l'épaisseur du quartz. En faisant tourner autour de l'axe du tube le Nicol le plus voisin de l'œil (l'analyseur), la couleur devient de moins en moins saturée. A 45° le champ est blanc, et si l'on continue à tourner le Nicol, on obtient la couleur complémentaire qui augmente de saturation, jusqu'à 90°, où la saturation atteint son maximum. En remplaçant l'analyseur par un cristal biréfringent, une lame de spath par exemple, qui agit comme deux Nicols perpendiculaires l'un sur l'autre, le champ est vu dédoublé et l'une des images du champ a la couleur complémentaire à celle de l'autre. En tournant le spath, les couleurs deviennent de moins en moins

saturées, et à 45° les deux champs sont blancs. Les tons des deux couleurs complémentaires dépendent de l'épaisseur de la lame de quartz. Dans l'appareil de *Chibret*, en plaçant la lame plus ou moins obliquement, on peut se servir d'une épaisseur plus ou moins grande et obtenir ainsi toute la gamme des couleurs. L'appareil présente ainsi un très grand nombre de tons et de degrés de saturation.

Le malade regarde vers une fenêtre à travers l'instrument. On place l'indice de la saturation ES (fig. 168), qui règle la position du cristal biréfringent à 5°, ce qui donne des couleurs fortement mélangées de blanc, et, après avoir mis l'indice des tons EC, qui règle l'inclinaison du quartz sur l'orangé à zéro, on demande au malade si les champs sont

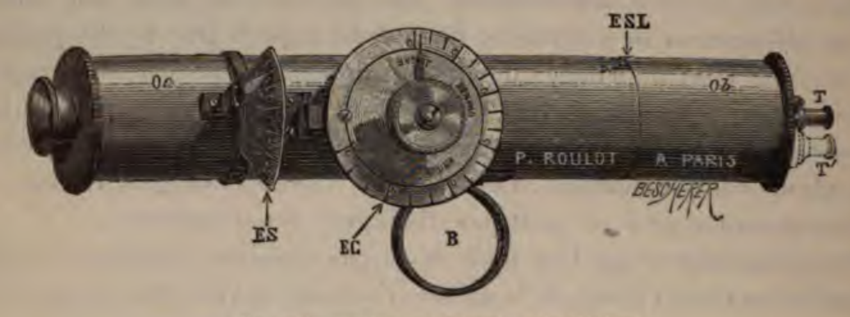


Fig. 168. — Chromatoptomètre de *Chibret*.

pareils. S'ils ne le sont pas, on tourne l'indice des *tons* lentement vers le rouge, le jaune et le violet. Si le malade voit toujours les deux champs différents, on répète l'expérience, après avoir placé l'indice de saturation à zéro, ce qui rend les deux champs blancs. Il doit maintenant les voir pareils. Si le malade réussit ces épreuves, il n'est pas daltoniste. Si, au contraire, dans la première expérience, il voit les deux champs pareils pour un certain ton, il est daltoniste. On augmente alors de plus en plus la saturation de ces tons. Si l'on réussit ainsi à produire une différence entre les deux champs, le daltonisme est incomplet ; dans le cas contraire, il est complet.

S'il s'agit de sujets qui désirent un certificat pour être employés de chemins de fer, matelots, etc., il peut encore être utile d'examiner s'ils peuvent distinguer des signaux. Une ouverture de 3 millimètres de diamètre dans un écran, couverte d'un papier blanc, et éclairée par derrière par une lampe, suffit pour cet examen. On place l'homme à examiner à 5 ou 6 mètres de distance, et on voit s'il commet des erreurs quand on place des verres de différentes couleurs devant l'ouverture.

113. Hypothèses sur le mécanisme de la vision des couleurs. —

On a essayé d'expliquer le mécanisme de la vision des couleurs par différentes hypothèses : les anciennes étaient sans aucune base anatomique, les plus récentes ont été plus ou moins inspirées par la découverte du pourpre rétinien. Aucune de ces hypothèses n'a un caractère satisfaisant, et les faits connus jusqu'à présent ne semblent pas encore suffire pour expliquer le mécanisme de la vision des couleurs. Mentionnons brièvement ces hypothèses.

Théorie de Young. — Voici comment *Young* a exposé son hypothèse. « Il est certain qu'on peut produire une sensation parfaite de jaune et de bleu par un mélange de lumière verte et rouge et de lumière verte et violette. Et il y a des raisons pour admettre que ces sensations sont toujours composées d'une combinaison de sensations séparées. Cette supposition simplifie au moins la théorie des couleurs ; on peut donc l'admettre avec avantage, jusqu'au jour où on la trouverait incompatible avec un phénomène quelconque. Nous allons donc considérer la lumière blanche comme composée d'un mélange de trois couleurs seulement, le *rouge*, le *vert* et le *violet*. »

Suivant cette hypothèse, on se figure chaque fibre nerveuse de la rétine composée de trois fibres de second ordre ; chacune de ces trois fibres serait munie d'un organe terminal spécial (substance photo-chimique) et également d'un organe central spécial. Une irritation de la première fibre produirait une sensation rouge, une irritation de la seconde fibre une sensation verte et une irritation de la troisième une sensation violette. Ces trois couleurs sont désignées *couleurs principales*. Une irritation des deux premières fibres produirait du jaune, etc. Une irritation à la fois des trois fibres produit du blanc, et, si aucune des fibres n'est irritée, on a la sensation du noir. Les rayons rouges irritent la première fibre, les rayons verts la deuxième, les rayons violets la troisième ; les rayons jaunes irritent la première et la deuxième, et ainsi de suite. *Young* expliquait le daltonisme en admettant qu'une des fibres faisait défaut. — Un des avantages de cette hypothèse est qu'on peut se figurer l'action identique dans les trois fibres. L'action dans les organes terminaux doit nécessairement être différente, mais la manière dont l'impression est conduite au cerveau peut être la même dans les trois cas. La différence entre les sensations se produirait par la réaction différente des organes centraux.

Sous cette forme, la théorie était très jolie, mais elle ne s'est pas montrée d'accord avec les observations sur la vision des couleurs. Elle exige en effet qu'on puisse choisir trois couleurs spectrales, de manière à pouvoir reproduire tous les tons et toutes les saturations existantes

en les mélangeant, mais nous avons vu que cela n'est pas possible ; il reste toujours quelques-unes des couleurs spectrales qui sont plus saturées que les mélanges. D'après *Young*, la table des couleurs devrait avoir une forme exactement triangulaire, mais les observations de *Maxwell* ont montré que ce n'est pas le cas. On ne peut pas choisir par exemple les *standard colours* de *Maxwell* comme couleurs principales, parce qu'on ne peut pas reproduire avec elles les couleurs situées en dehors du triangle.

Modification de la théorie de Young par v. Helmholtz. — Il faut donc admettre que les sensations correspondant aux couleurs principales sont encore plus saturées que les couleurs spectrales, car alors leurs mélanges pourraient avoir la même saturation que celles-ci. Sur la table, les couleurs principales seraient alors à placer plus loin du centre que les couleurs spectrales, de sorte que le triangle qu'on obtiendrait en les réunissant enfermerait toute la courbe.

v. Helmholtz admettait que chaque couleur spectrale irritait les trois fibres à la fois, mais à un degré différent. Les rayons rouges irriteraient ainsi fortement la première fibre, faiblement les deux autres. L'impression produite par le rouge spectral contiendrait déjà du blanc. *v. Helmholtz* rappelait à cet égard que cette impression n'est pas la sensation de rouge la plus saturée qu'on puisse avoir. Si l'on produit d'abord une image secondaire d'un objet de couleur complémentaire, avant de regarder le rouge spectral, l'impression devient bien plus vive, parce qu'on aurait ainsi « fatigué » les deux autres fibres.

v. Helmholtz essayait d'abord d'expliquer le daltonisme, d'après *Young*, par le défaut de l'une des fibres. Il admettait donc trois espèces de daltonisme, l'*anérythropsie*, l'*achloropsie* et l'*akyanopsie*. Comme nous l'avons vu, la dernière forme est très douteuse, et les deux premières semblent se confondre en une seule. Mais, il y a encore d'autres difficultés. Les daltonistes déclarent voir du jaune et du bleu dans le spectre, tandis que, d'après *v. Helmholtz*, ils devraient voir du vert et du violet, ou du rouge et du violet. On sauvait l'hypothèse en disant qu'il n'était pas possible de savoir ce qu'ils entendent par du bleu et du jaune, mais comme cette explication devenait très douteuse, après l'observation de *v. Hippel*, on modifia encore une fois l'hypothèse, en admettant que les daltonistes possèdent bien les trois fibres, mais que les couleurs agissent chez eux également sur deux des fibres. Si, par exemple, les rayons rouges agissent autant sur la première que sur la seconde fibre, ils doivent produire la sensation jaune. Il en est de même pour les rayons verts. En prenant du bleu comme troisième couleur principale, on

pourrait ainsi expliquer la manière dont les daltonistes voient les couleurs; mais toutes ces modifications ne rendent pas l'hypothèse très plausible.

Théorie de Hering. — Ce savant admet une « substance visuelle » qui est un mélange de trois autres : une qui détermine la sensation du noir et du blanc, une autre qui détermine celle du rouge et du vert, une troisième qui détermine celle du jaune et du bleu. La lumière rouge agit sur la substance rouge-verte qui s'use (se désassimile), ce qui produit la sensation du rouge. La lumière verte reproduirait au contraire cette substance par son action (assimilation), ce qui produirait la sensation du vert. Il en est de même pour les rayons jaunes et bleus par rapport à la substance bleu-jaune. Les rayons intermédiaires agissent sur les deux substances à la fois. Mais tous les rayons agissent sur la substance blanche-noire, ce que *Hering* exprime en disant que ces rayons ont, outre leur valeur (*Valenz*) colorée, encore une valeur (*Valenz*) blanche. Ce n'est pas seulement la lumière blanche, mais aussi les rayons colorés qui « désassimilent » cette substance. Si les deux autres substances n'existaient pas, tous les rayons produiraient une sensation blanche, mais d'intensité différente. C'est ce qui a lieu pour les monochromates (achromates). Si seulement une des deux substances fait défaut, on a le système dichromate.

Hering admet donc quatre couleurs principales : rouge et vert, jaune et bleu, et il pense qu'on a une impression directe de ce que ces quatre couleurs sont pures, les autres, perçues par une action sur les deux substances à la fois, composées.

La rivalité entre ces deux théories, dont la première a été inspirée par les observations sur les mélanges des couleurs, tandis que la deuxième semble surtout dériver de l'étude des images secondaires, a fait surgir un grand nombre de travaux; les élèves de *v. Helmholtz* ont essayé de prouver que l'hypothèse de *Hering* était fausse, et inversement. Il me semble que les deux théories en ont souffert. La théorie de *Hering* semble plutôt donner un exposé des faits connus que les expliquer. Elle se base sur le fait, qu'il me semble difficile de nier, que l'œil humain ne voit pas de ressemblance entre les quatre couleurs principales du spectre, le rouge, le jaune, le vert et le bleu, tandis que les couleurs intermédiaires ressemblent chacune à deux des couleurs principales. Mais il est à remarquer que le rouge de *Hering* doit être complémentaire au vert; il ne correspond donc pas au rouge spectral, qui, d'après *Hering*, contient déjà du jaune, mais à une couleur pourpre, dont on peut difficilement prétendre qu'elle donne l'impression directe d'une couleur non com-

posée [1]. Il me semble aussi qu'une théorie qui ne rend pas compte de la situation spéciale du jaune parmi les couleurs est nécessairement insuffisante.

Autres théories. — Parmi les théories plus récentes, citons celle de *Ebbinghaus*, qui admet l'existence, dans les cônes, d'une substance verte, dont la décomposition produirait la sensation de rouge et de vert, tandis que le pourpre, par sa décomposition, produirait la sensation de jaune et de bleu. *Parinaud* admet que l'irritation des bâtonnets produit une sensation de lumière non colorée, tandis que l'irritation des cônes peut produire toutes les sensations possibles, la sensation des couleurs et la sensation de blanc. La rétine aurait deux systèmes sensibles à la lumière, l'un monochromate, l'autre trichromate. Les idées de *v. Kries* concordent à peu près avec celles de *Parinaud*.

Arthur Kœnig a émis une théorie qui peut être considérée comme un développement de la théorie de *Young-Helmholtz*. Il admet le *rouge*, le *vert* et le *bleu* comme couleurs principales. Suivant *Kœnig*, la décomposition du pourpre rétinien en jaune produit la faible sensation de gris que provoque n'importe quelle couleur lorsqu'elle est assez faible. La décomposition ultérieure produit la sensation du bleu. La perception des deux autres couleurs principales, le vert et le rouge, se fait par l'intermédiaire des cellules pigmentaires, tandis que les cônes doivent être considérés comme des appareils dioptriques destinés à concentrer la lumière sur la couche épithéliale. — J'ai déjà mentionné qu'*Henri Müller* a mesuré la distance des vaisseaux rétiniens à la couche sensible au moyen de la parallaxe des vaisseaux, vus entoptiquement (v. p. 144). En collaboration avec *Zumft*, *Kœnig* a répété ces expériences avec de la lumière spectrale. Il a trouvé que la distance augmente à mesure qu'on se rapproche de l'extrémité rouge du spectre. La couche sensible à la lumière verte, et surtout celle sensible à la lumière rouge, seraient donc situées en arrière de la couche sensible au bleu. La distance de ces deux couches dépassait même l'épaisseur rétinienne, ce qui a obligé *Kœnig* à admettre que la perception de ces deux couleurs a lieu dans la couche épithéliale. — Ces expériences demandent encore à être vérifiées ; *Kœster* les a répétées sans succès.

1. Vers la périphérie du champ visuel existe une zone dichromate, dans laquelle on ne voit que les couleurs jaunes et bleues. Un objet rouge semble à cet endroit jaune, tandis qu'une couleur pourpre paraît bleue : c'est la teinte intermédiaire qui correspond au rouge de Hering.

Bibliographie. — Malgré le grand nombre de travaux sur la vision des couleurs, cette question semble encore peu élucidée. Dans la préface de son traité de la lumière, qui a paru peu d'années avant l'optique de *Newton*, *Huyghens* dit qu'il ne parlera pas des couleurs, « une question dans laquelle, jusqu'à présent, personne n'a pu se louer de succès ». Il me semble que cette phrase, qui était vraie à l'époque de *Huyghens* quant à la physique des couleurs, peut s'appliquer aujourd'hui à leur physiologie. Ce sujet n'a pas encore trouvé son *Newton*.

Newton (I). *Optics*. London, 1704. — Lambert. *Farbenpyramide*. Augsburg, 1772. — Dalton. *Edinburgh. Philos. Journal*. Vol. VI. — *Œuvres de* Young, ed. Tscherning, p. 217-232. — Purkinje. *Zur Physiologie der Sinne*. II, p. 109, 1825. — Seebeck. *Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn*. Pogg. Ann. 1837, p. 177. — Helmholtz (H.). *Ueber die Theorie der zusammengesetzten Farben* Pogg. Ann. 1852. p. 45. — Helmholtz (H.). *Ueber die Zusammensetzung der Spectralfarben*. Pogg. Ann. 1855, p. 1. — Helmholtz (H.). *Ueber die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut für die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichts*. Pogg. Ann. 1855, p. 205. — Maxwell (C.). *Experiments on colours as perceived by the eye with remarks on colour blindness. Transact. of the Roy. Soc. of. Edinb.*, XXI, 1855. — Maxwell (C.). *On the theorie of compound colours and the relations of the colours of the Spectrum. Phil. trans.* 1860. — Maxwell (C.). *On the unequal sensibility of the foramen centrale to light of different colours*. Edinb. Journ., 1856, IV, p. 337. — Hering (E.). dans *Lotos* Prag. 1880-82-85-87. — Rayleigh. *Nature*. Vol. XXV, p. 64, 1881. — Macé de Lepinay et Nicati. *Ann. de chimie et de physique*. Ser. 5, t. 24, p. 289, 1881 et t. 30, p. 145, 1883. — Uhthoff (W.). *Ueber das Abhaengigkeitsverhaeltniss der Sehschaerfe von der Beleuchtungsintensitaet*. Graefes Arch. XXXII, 1886. — Uhthoff (W.). *Weitere Untersuchungen ueber die Abhaengigkeit der Sehschaerfe von der Intensitaet sowie von der Wellenlaenge im Spektrum*. Graefes Arch. XXXVI, 1890. — Kriess (I. v.). *Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse*. Leipzig, 1882. — *v. Hippel*. Graefes Archiv. XXVII, 3 p. 47. 1881 — Krenchel (W.). *Ueber die Hypothesen von Grundfarben*. Graefes Arch. XXVI, p. 91, 1880. — Kœnig, u. Brodhun. *Experimentelle Untersuchungen ueber die psychophysische Fundamentalformel in Bezug anf den Gesichtssinn*. Acad. de Berlin, 26 juillet 1888 et 27 juin 1889. — Kœnig (A.). et Dieterici (C.). *Die Grundempfindungen in normalen und anomalen Farbensystemen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum*. Zeitschrift für Psychol., IV, p. 241, 1892. — Kœnig (A.). et Zumft (I.). *Ueber die lichtempfindliche Schicht in der Netzhaut des menschlichen Auges*, Acad. de Berlin, 1894, 24 mai. — Kœnig (A.). *Ueber den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen*. Acad. de Berlin, 1894, 21 juin. — Chibret *Chromatoptomètre*. Bulletin de la Soc. fr. d'opht. 1886, p. 336. — Ebbinghaus (H.). *Theorie des Farbensehens*. Hamburg, 1893. — Parinaud (H.). *La sensibilité de l'œil aux couleurs spectrales ; fonctions des éléments rétiniens et du pourpre visuel*. Ann. d'oc. t. CXII, p. 228, 1894. — Koster (W.). *Ueber die percipirende Schicht der Netzhaut beim Menschen*. Graefes Arch. LXI, 1, p. 1. 1895.

CHAPITRE XVIII

LE SENS DES FORMES

114. Acuité visuelle centrale. — Le pouvoir de distinguer des formes est une faculté très complexe, qui en grande partie est liée aux mouvements oculaires. Pour juger de la forme des objets, nous les tâtons pour ainsi dire avec le regard. Néanmoins, la vision indirecte fournit une idée de la forme des objets. Suivant les idées empiristes (p. 201), ce seraient les observations faites pendant les déplacements du regard qui nous auraient enseigné la signification des impressions obtenues en vision indirecte.

On a pris, comme mesure du sens des formes, l'angle minimum sous lequel deux points peuvent être distingués l'un de l'autre. Les astronomes se sont dès longtemps occupés de cette question. *Hooke* indique ainsi que, pour qu'une étoile double puisse être reconnue comme telle à l'œil, il faut que l'intervalle corresponde à une minute, et encore faudrait-il de très bons yeux pour arriver à voir deux étoiles dans ces conditions. Plus tard, les physiologistes ont repris la question, le plus souvent en travaillant avec une petite grille dont les barres et les intervalles étaient de même largeur. On place la grille vers le ciel et on essaie de combien on peut s'éloigner sans que les barres se confondent. Il faut avoir soin que l'image formée sur la rétine soit nette, en corrigeant les défauts de réfraction s'il y en a. D'accord avec la plupart des observateurs, *v. Helmholtz* trouva à peu près le même angle que *Hooke*, c'est-à-dire une minute; mais il est à remarquer que ce n'est ni la largeur d'une barre ni celle de l'intervalle, mais la somme des deux, qui correspond à cet angle.

En considérant la structure anatomique de la rétine, il faudrait s'attendre à ce que l'angle de distinction minimum correspondît à la largeur d'un cône. Dans l'expérience de *Hooke* on conçoit, en effet, qu'on puisse distinguer les deux étoiles si, entre les deux cônes sur lesquels se

forment leurs images, il s'en trouve un troisième qui ne reçoit pas d'impression (fig. 169). On peut donc conclure que la largeur (angulaire) d'un cône doit être plus petite que la distance angulaire séparant les deux étoiles. Dans l'expérience de *v. Helmholtz*, au contraire, on ne peut pas conclure que la largeur du cône doit être plus petite que la largeur angulaire de la barre noire ; car on peut bien se figurer un cône plus large dont la partie centrale soit occupée par l'image de la barre noire, tandis que les parties latérales seraient occupées par une partie des images des intervalles, mais qui recevrait cependant moins de lumière

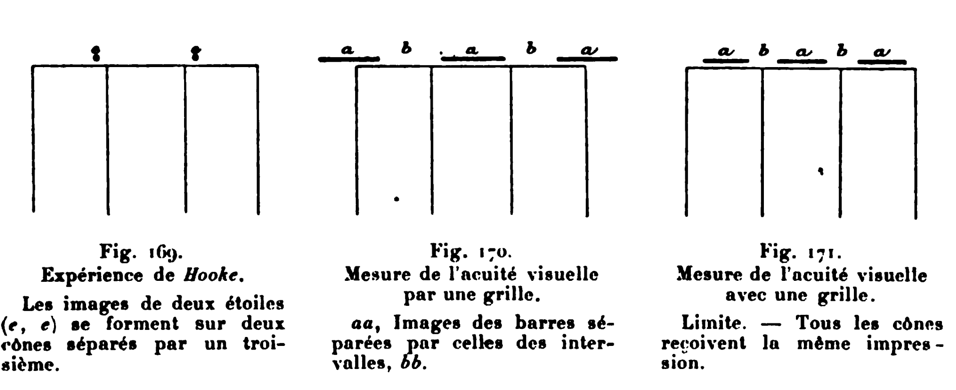


Fig. 169. Expérience de *Hooke*. Les images de deux étoiles (*e*, *e*) se forment sur deux cônes séparés par un troisième.

Fig. 170. Mesure de l'acuité visuelle par une grille. *aa*, Images des barres séparées par celles des intervalles, *bb*.

Fig. 171. Mesure de l'acuité visuelle avec une grille. Limite. — Tous les cônes reçoivent la même impression.

que les cônes voisins (fig. 170). Mais on peut conclure que le cône doit être plus petit que la distance (angulaire) séparant les milieux de deux intervalles lumineux voisins (ou, ce qui revient au même, plus petit que la somme d'une barre noire et d'un intervalle lumineux), car

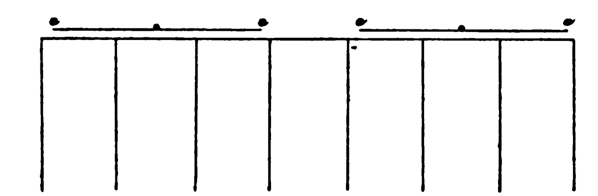


Fig. 172. — Expérience de *Hooke*, l'optique de l'œil étant défectueuse. Au lieu d'images nettes les étoiles forment des taches de diffusion *ee*, *ee*.

si la largeur des cônes était égale à cette distance, tous les cônes recevraient la même quantité de lumière (fig. 171), et les barres se confondraient. Aussi le résultat obtenu par *v. Helmholtz* est bien d'accord avec celui de *Hooke*.

En mettant la distance du point nodal de l'œil jusqu'à la rétine à 15 millimètres, la largeur angulaire d'une minute correspond à $\frac{2.15\,\pi}{60.360}$ $= 0^{mm},004$. Dans la *fovea* la largeur des cônes est d'environ $0^{mm},002$. L'acuité visuelle ne semble donc pas tout à fait atteindre le degré auquel

on pourrait s'attendre d'après la structure de la rétine, probablement à cause d'irrégularités optiques. Il semble rare, en effet, qu'un point lumineux forme son image sur un seul cône, et, si elle s'étend sur plusieurs cônes, il n'y a rien d'étonnant à ce que l'angle de distinction minimum soit plus grand que la largeur angulaire d'un cône (fig. 172).

On pourrait croire que l'angle minimum de *visibilité* puisse servir comme mesure du sens des formes, c'est-à-dire qu'on puisse le mesurer en déterminant quel est l'angle visuel le plus petit sous lequel un objet peut être vu ; mais il est évident que cet angle dépend uniquement de l'intensité lumineuse de l'objet, car, malgré leur grandeur angulaire minimum, nous voyons très bien les étoiles fixes, lorsqu'elles sont suffisamment lumineuses.

Si l'œil était optiquement parfait, de telle sorte que l'image de l'étoile puisse se former sur la surface d'un seul cône, il est facile de voir que l'impression lumineuse que reçoit ce cône, si elle était assez forte, suffirait à faire voir l'objet, même si l'image n'occupait pas toute la surface du cône. Mais, comme règle, l'optique de l'œil n'est pas aussi bonne. La plupart des personnes ne voient pas les étoiles comme des points, mais comme de petites surfaces d'autant plus grandes que l'étoile est plus brillante ; l'image de l'étoile est, en effet, un cercle de diffusion composé de parties plus ou moins lumineuses : lorsque l'éclat est faible, ces dernières parties disparaissent, de sorte que l'étoile paraît plus petite. Tant que l'étoile est lumineuse, l'image couvre donc en général plusieurs cônes ; si l'éclat diminue, l'image peut se former sur un seul cône, mais la visibilité ne dépend toujours que de l'éclat. Une comparaison avec l'expérience précédente montre aussi qu'on ne peut pas employer la visibilité d'une seule étoile comme mesure de l'acuité visuelle : l'expérience serait identique à celle de la grille, si l'on se figure deux barres infiniment larges séparées par un intervalle correspondant à l'étoile. Nous avons vu qu'on peut conclure que la largeur angulaire du cône est plus petite que la largeur angulaire d'une barre plus un intervalle : mais ceci, dans le cas présent, n'a aucun sens.

Dans les cliniques on emploie, pour la mensuration de l'acuité visuelle, les tableaux de *Snellen* ou d'autres construits d'après le même principe. Les lettres sont arrangées de manière à être vues sous un angle de 5 minutes ; les lignes qui forment les lettres, ainsi que la plupart des intervalles qui les séparent, sont vues sous un angle d'une minute. On voit que l'acuité normale de Snellen correspond à la moitié de celle que v. *Helmholtz* avait trouvée, avec sa grille, dans laquelle chaque barre et chaque intervalle correspondaient à une demi-minute. Aussi trouve-t-on que les meilleurs yeux ont une acuité visuelle qui se rapproche

de 2 $\left(\frac{3}{2} \text{ ou } \frac{4}{3}\right)$, et on peut être presque sûr que si, avec un bon éclairage, l'acuité n'est égale qu'à 1, l'œil présente des défauts assez accusés pour être facilement constatés.

Nous avons dit que l'angle sous lequel sont vues les lettres correspond à 5 minutes. L'angle étant égal à la grandeur linéaire de la lettre divisée par la distance à laquelle elle est vue, il est clair que les lettres qui sont destinées à être vues à une distance de 12 mètres doivent avoir le double de la grandeur linéaire de celles qui sont vues à 6 mètres. Si les premières sont vues à une distance de 6 mètres seulement, on dit que l'acuité visuelle est égale à $\frac{6}{12} = \frac{1}{2}$. Différents auteurs, entre autres *Javal*, ont fait remarquer que cette manière de désigner l'acuité visuelle n'est pas très logique, et qu'on devrait, dans ce cas, dire que l'acuité est égale à $\frac{1}{4}$, puisque la surface de la lettre en question est quatre fois plus grande que celle qui correspond à l'acuité 1.

Malgré les objections théoriques qu'on peut lui faire, le tableau de *Snellen* est pourtant très pratique. Il est certain cependant que quelques-unes des lettres sont bien plus facilement lues que d'autres de la même ligne. La lisibilité d'une lettre est, en effet, une affaire très complexe, qui est loin de dépendre uniquement de la grandeur des intervalles séparant les différentes lignes. On a essayé d'y remédier, tantôt en faisant plus grandes les lettres plus difficilement lisibles, tantôt en choisissant seulement des lettres facilement lisibles. Ces perfectionnements ne se sont guère répandus, car ils sont sans grande utilité ; en se servant du tableau on apprend en effet très vite le degré de lisibilité que chaque lettre a pour un œil normal. Un inconvénient plus sérieux est le petit nombre de grandes lettres, qui rend souvent la détermination de la réfraction difficile, dans les cas où l'acuité est moins bonne, parce que les malades apprennent les lettres par cœur. Pour avoir un éclairage constant, il est bon de placer le tableau à un endroit sombre et de l'éclairer avec un bec de gaz muni d'un réflecteur qui protège les yeux du malade. Le tableau de *Javal* est transparent et placé à côté du malade qui le regarde dans une glace. On arrive ainsi à ce résultat que les lettres, étant opaques, sont toujours vues parfaitement noires, et que la distance est doublée par la réflexion. La grandeur des lettres augmente suivant une progression géométrique, ce qui avait déjà été proposé par *Green*. *Burchardt* a fait imprimer des séries de groupes de points de différentes grandeurs, arrangés d'après le principe de *Snellen*. Le malade doit pouvoir compter le nombre de points qui composent un groupe. Beaucoup d'oculistes ont suivi l'exemple de *Snellen* et construit des échelles d'après le même principe.

On se sert encore des épreuves de *Jaeger*, la première collection un

peu complète de caractères de différentes grandeurs qui aient été employés. L'avantage que présente le tableau de *Snellen* est qu'il porte inscrite la distance à laquelle le malade devrait pouvoir lire chaque ligne, ce qui a amené les oculistes à examiner la vue de tous les malades à une même distance. Ce principe avait déjà été appliqué par *Stellwag*.

En 1891, *Guillery* a proposé de mesurer l'acuité visuelle simplement par la distance à laquelle on peut distinguer un point noir sur fond blanc. Par des comparaisons avec les lettres de *Snellen*, il a trouvé qu'un point noir vu sous un angle de 50 secondes correspond à l'acuité normale; à 5 mètres il doit avoir un diamètre de $1^{mm},2$. Ce point est désigné comme le numéro 1. Le numéro 2 a la *surface* deux fois plus grande que le numéro 1, et le malade, qui ne voit que le numéro 2 à 5 mètres de distance, a une acuité de $\frac{1}{2}$, etc. Chaque point se trouve sur un carré blanc, tantôt au milieu, tantôt en bas, tantôt dans un coin, etc., et il y a sur la même ligne plusieurs épreuves l'une à côté de l'autre, dans lesquelles le point a la même grandeur. Le malade doit indiquer à quel endroit du carré il aperçoit le point. Il semble qu'on mesure l'acuité visuelle tout aussi bien de cette manière que d'après le principe de *Snellen*, ce qui est assez curieux et montre qu'on ne peut pas identifier l'examen avec un point lumineux sur fond noir avec celui fait au moyen d'un point noir sur fond blanc. *Javal* a construit une petite échelle portative d'après le même principe : elle se compose de petits carrés noirs tels que le côté d'un carré est toujours égal à la diagonale du précédent. Si le côté est égal à 1, la diagonale est $\sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2}$, ce qui est le côté du carré suivant ; la diagonale de ce dernier est alors 2, et ainsi de suite. De cette manière, la surface d'un carré est toujours double de celle du précédent.

Rapports entre l'acuité visuelle et l'éclairage. — L'acuité visuelle dépend directement de l'éclairage du tableau, mais il est assez difficile de déterminer le rapport d'une manière générale, parce qu'il y a beaucoup de facteurs différents qui l'influencent. Ainsi, le rapport doit dépendre de la grandeur pupillaire, de la manière dont la pupille se contracte sous l'influence de la lumière, du degré de perfection optique et surtout d'adaptation de l'œil à l'obscurité. *Druault* a fait quelques recherches sur cette question, en rapprochant une bougie (de stéarine, de 22 millimètres de diamètre) du tableau d'acuité visuelle et en notant la distance à laquelle cette lumière permettait de lire chaque ligne; l'œil était dans un degré d'adaptation moyenne. Pour obtenir des degrés élevés d'éclairage, il remplaçait la bougie par une lampe équivalant à cinquante-quatre bougies. Le tableau suivant montre ses résultats,

en prenant comme unité l'éclairage obtenu en plaçant une bougie à 1 mètre de distance.

Éclairage.	Acuité.
0,016	$\frac{15}{200} = 0,075$
0,020	$\frac{15}{100} = 0,15$
0,028	$\frac{15}{70} = 0,21$
0,047	$\frac{15}{50} = 0,30$
0,12	$\frac{15}{40} = 0,37$
0,25	$\frac{15}{30} = 0,50$
0,67	$\frac{15}{20} = 0,75$
1,50	$\frac{15}{15} = 1,00$
16,7	$\frac{15}{12} = 1,25$
5400	$\frac{15}{10} = 1,50$

On remarque que l'acuité augmente d'abord rapidement, ensuite lentement, avec l'éclairage, et qu'à la fin il faut une augmentation d'éclairage énorme pour faire monter l'acuité de 1,25 à 1,50. En augmentant encore l'éclairage, l'acuité augmenterait probablement encore, mais très peu, de sorte que la courbe indiquant l'acuité visuelle pour les différents éclairages serait une courbe à plateau très allongée et plus ou moins analogue à la courbe du sens lumineux (fig. 148).

J'ai déjà fait remarquer que le rapport entre l'acuité visuelle et l'éclairage dépend encore de la couleur de la lumière employée (p. 224).

La théorie suivant laquelle la couche des cônes et des bâtonnets serait la couche sensible, explique assez bien l'acuité qu'on obtient avec un bon éclairage, mais elle ne donne nullement une explication satisfaisante de la manière dont l'acuité baisse lorsque l'éclairage diminue.

115. Acuité périphérique. — On détermine les limites du champ visuel avec un périmètre ou un campimètre, en laissant l'examiné fixer le centre, et en cherchant jusqu'à quelle limite le malade peut encore voir l'objet en vision indirecte. La distance de l'œil au plan du campimètre ou à l'arc du périmètre varie un peu pour les différents instruments. L'objet est le plus souvent un carré blanc (ou coloré) dont le côté est d'environ 1 centimètre. Avec l'objet blanc on trouve ainsi les limites absolues du champ ; en prenant des objets plus grands

ou plus brillants, on n'obtient guère de limites plus étendues. Il en est autrement pour l'examen avec des couleurs. Il semble, en effet, qu'en prenant des objets suffisamment grands et suffisamment brillants, on obtient des limites plus larges qu'à l'examen ordinaire. Dans les cliniques, on examine en général avec le *blanc*, le *bleu*, le *rouge* et le *vert*, et on trouve comme règle le champ moins étendu dans l'ordre suivant lequel j'ai nommé les couleurs. Si l'on trouve des limites différentes pour le rouge et le vert, cela tient probablement à ce qu'on emploie des couleurs qui ne sont pas complémentaires ou qui ont une intensité différente ; autrement, on devrait trouver les mêmes limites.

L'acuité visuelle baisse fortement aussitôt que l'image s'éloigne de la fovea. Si, par exemple, on fixe le bord du tableau de *Snellen*, l'acuité baisse de suite à 1/8 ou 1/10. On a essayé de déterminer l'acuité périphérique d'après le principe de *Snellen*, mais la méthode est très difficile à employer cliniquement, tandis qu'une autre méthode introduite par *Bjerrum* semble donner de bons résultats. Il répète simplement l'examen périmétrique avec des objets de plus en plus petits. Il emploie une distance de 2 mètres, en plaçant le malade devant un grand rideau noir ; les objets employés sont de petits disques en ivoire de différentes grandeurs, fixés sur des bâtons noirs de 1 mètre de longueur. L'observateur doit porter des gants noirs. En examinant ainsi, *Bjerrum* trouva comme limites du champ normal :

		En dehors.	En dedans.	En bas.	En haut.
Avec un disque de.	3mm	35°	30°	30°	25°
— —	6mm	50°	40°	40°	35°
Limites normales		90°	60°	70°	60°

Par cette méthode on peut souvent constater des défauts qu'on ne peut pas trouver autrement. On rencontre ainsi des cas d'atrophie des nerfs optiques, où le champ examiné de la manière ordinaire est normal, tandis que la méthode de *Bjerrum* révèle des rétrécissements considérables. Dans le glaucome *Bjerrum* a, par son procédé, découvert des scotomes disséminés dans le champ, mais qui sont en général reliés à la tache de *Mariotte* par une lacune en forme de pont. Le scotome paracentral est ainsi relié à la pupille par une lacune qui entoure la moitié supérieure ou inférieure de la macula. Sa forme indique directement la marche des nerfs. Quelquefois il peut être utile de répéter l'examen en diminuant l'éclairage.

Plus récemment, *Groenouw* a exécuté des mensurations analogues avec un point noir sur fond blanc. Il désigne comme *isoptères* des lignes tracées dans le champ visuel par des points où l'acuité visuelle est la même. Ces procédés sont fondés sur le même principe qui a servi à

Guillery pour la mesure de l'acuité centrale. Leur théorie est encore à faire.

Dans le champ normal il n'y a qu'une seule interruption, c'est la tache aveugle qui correspond à la papille. Elle fut découverte par *Mariotte* dont elle porte le nom, ce qui fit alors une très grande sensation. De sa découverte Mariotte tira cette conclusion, que c'est la choroïde qui est la couche sensible de l'œil, puisqu'elle fait défaut à cet endroit, et cette idée fut longtemps admise. On peut déterminer la forme de la tache aveugle par les méthodes ordinaires de périmétrie, et le mieux en se plaçant à une distance de 1 ou 2 mètres. La tache a une forme elliptique ; en général on réussit, en examinant avec un objet très petit, à



Fig. 173. — Tache de *Mariotte* de mon œil droit, dessinée par *Holth*.

suivre les gros vaisseaux un peu en dehors de la papille (fig. 173). Si l'on ne réussit pas à les suivre plus loin, cela tient au défaut de stabilité de la fixation. Suivant les recherches du docteur *Holth*, qui a bien voulu dessiner la figure 173, il est presque impossible de maintenir la fixation à peu près exacte plus de cinq à dix secondes ; après ce temps, le regard fait des excursions involontaires qui peuvent atteindre un tiers ou la moitié d'un degré, et après vingt ou trente secondes on observe souvent des excursions qui dépassent un degré. On peut contrôler la fixation en se servant comme objet de fixation d'un point marqué sur une petite surface colorée sur fond blanc. Déjà, après très peu de temps, on voit la surface entourée d'une bordure de couleur complémentaire. — Le bord interne de la tache de Mariotte se trouve à environ douze degrés

du point de fixation, et le diamètre correspond à environ six degrés, soit douze fois le diamètre de la lune.

Phénomène de Troxler. — Si l'on dessine plusieurs taches noires sur une feuille de papier et qu'on en fixe une pendant quelque temps, on voit tantôt une, tantôt une autre des taches environnantes disparaître pour réapparaître peu de temps après, le plus souvent à l'occasion d'un battement des paupières ou d'un petit mouvement de l'œil. Ce singulier phénomène, qui a été décrit au commencement de ce siècle par *Troxler*,

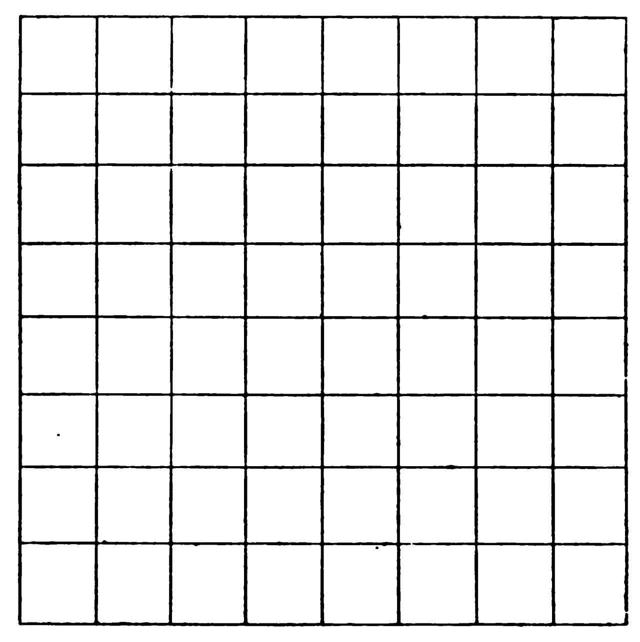


Fig. 174.

a été étudié dernièrement par le docteur *Holth*. La couleur du fond, ainsi que celle des taches, ne joue aucun rôle; pendant la disparition de ces dernières, on ne voit à leur place que le fond; le scotome se remplit donc à peu près comme la tache de *Mariotte*. La tache fixée peut même disparaître, après un long temps de fixation. Pour étudier le phénomène, on peut observer un dessin régulier, comme par exemple celui de la figure 174. Pour mon œil, le phénomène commence après avoir fixé le milieu pendant huit ou dix secondes, c'est-à-dire au moment où la fixation commence à être moins sûre. Dès ce moment, la figure montre des changements perpétuels : tantôt une partie de la figure disparaît, tantôt une autre. Ce qui est curieux, c'est que le plus souvent les scotomes ne sont pas absolus : tantôt ce sont les lignes horizontales qui disparaissent à un endroit, tandis que les lignes verticales persistent, tantôt

c'est le contraire qui a lieu. Ces phénomènes rappellent beaucoup celui qu'on a décrit sous le nom d'antagonisme des champs visuels et qu'on observe, par exemple, en présentant dans un stéréoscope des lignes horizontales à un œil, des lignes verticales à un autre. — Si l'on fixe le centre d'une figure composée de cercles concentriques et de rayons, on voit tantôt ces derniers, tantôt les cercles. Sur un damier on voit tantôt une, tantôt une autre des cases disparaître, et ainsi de suite. *Holth* a même fait disparaître des objets lumineux, la lune par exemple; suivant lui, des petits objets disparaissent même si on leur imprime un mouvement lent. Il y a donc lieu de se méfier de cette source d'erreurs, si l'on désire faire de la périmétrie de précision.

Bibliographie. — Hooke v. Smith, Robert. *Cours complet d'optique*, trad. par Pezenas. Paris, 1767, p. 44. — Troxler. *Ueber das Verschwinden gesehener Gegenstande innerhalb unseres Gesichtskreises. Himly u. Schmidt. Ophthalm. Bibliothek.*, 1802, II, p. 1. — *Œuvres de Young*, éd. Tscherning, p. 78. — Stellwag v. Carion. *Die Accommodationsfehler des Auges*, Wien, 1855. — Guillery. *Ein Vorschlag zur Vereinfachung der Sehproben*. Arch. f. Augenheilk., XXIII, p. 323, 1891. — Grœnouw. *Ueber die Sehschaefe der Netzhautperipherie und eine neue Untersuchungsmethode derselben*. Arch. f. Augenheilk., XXVI, p. 85, 1893. — Bjerrum. *Undersoegelsen af Synet*. Copenhague, 1894. — Holth (S.). *Om det normale Synsorgans Stirreblindhed. Norsk Magazin for Laegevidenskaben*. August 1895.

LIVRE III

LES MOUVEMENTS OCULAIRES

ET LA VISION BINOCULAIRE

CHAPITRE XIX

LA LOI DE LISTING

116. Centre et axes de rotation de l'œil. — Les mouvements de l'œil se font librement dans tous les sens ; l'étendue du champ de regard est d'environ 55° dans toutes les directions. — Il est facile de s'assurer que les parties molles qui remplissent l'orbite sont incompressibles : si l'on essaie de pousser l'œil en arrière, on rencontre une résistance considérable ; les mouvements de l'œil se bornent donc à des rotations.

Ces rotations se font, au moins approximativement, autour d'un centre qui, d'après les déterminations de *Donders*, est situé à environ 10 millimètres en avant de la surface postérieure de la sclérotique ou à 14 millimètres en arrière du sommet de la cornée. Il coïncide avec le centre de la surface postérieure du globe supposée sphérique. Il n'est pas sûr que le centre de rotation soit exactement le même pour des mouvements dans différentes directions.

Donders, en collaboration avec *Dojer*, a déterminé la position du centre de rotation de l'œil de la manière suivante. Il mesura d'abord le diamètre de la cornée avec l'ophtalmomètre de *v. Helmholtz*, et plaça ensuite un cheveu (*a*, fig. 175) tendu verticalement dans un anneau devant le milieu de la cornée. Il examina alors la grandeur angulaire des excursions latérales du regard que devait faire le sujet observé pour que le cheveu fût vu successivement en coïncidence avec les bords gauche et droit de la cornée. Soit ACD (fig. 175) une de ces excursions, p la moitié du diamètre de la cornée et x la distance CE. On a alors $p = x tg$ ACD, d'où l'on peut

calculer x. En ajoutant à cette distance la hauteur de la cornée, on trouve la distance du centre de rotation à la cornée.

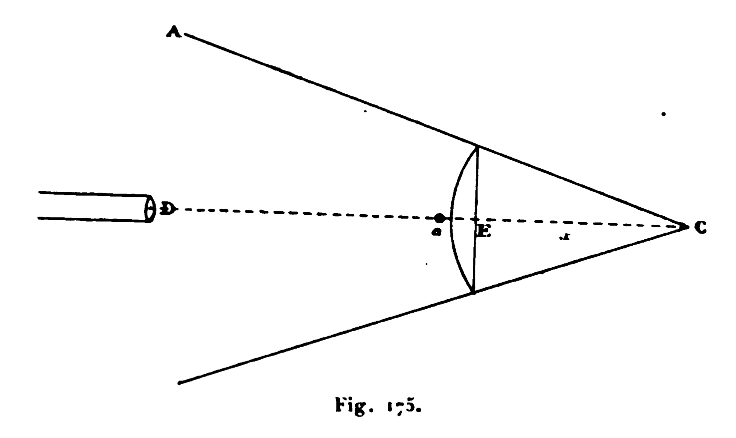


Fig. 175.

Les six muscles moteurs forment, comme on sait, trois paires, qui font tourner l'œil autour de trois axes passant par le centre de rotation de l'œil. L'axe des droits externe et interne est vertical. Les axes des deux autres paires sont situés dans le plan horizontal. L'extrémité nasale de l'axe des droits supérieur et inférieur, BA (fig. 176), est située un peu en avant, de manière à former un angle d'environ 70° avec la ligne visuelle. L'extrémité temporale de l'axe des obliques CD (fig. 176) est

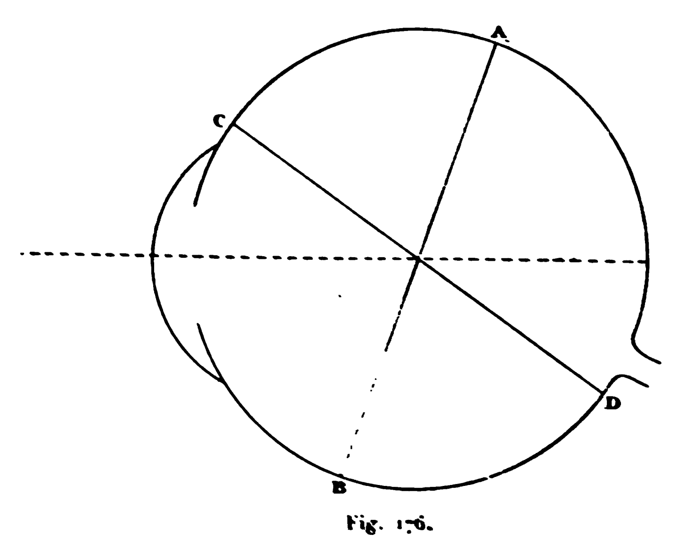


Fig. 176.

dirigée fortement en avant ; il forme un angle de 35° environ avec la ligne visuelle.

Les droits interne et externe tournent donc l'œil directement en dedans et en dehors. Les droits supérieur et inférieur dirigent le regard

en haut et en bas, mais en même temps un peu en dedans. Le grand et le petit oblique dirigent le regard soit en bas soit en haut, mais en même temps en dehors. Le regard est dirigé droit en haut par l'action combinée du droit supérieur et du petit oblique, et la direction en bas est obtenue par l'action combinée du droit inférieur et du grand oblique.

Les muscles rendent possible la rotation du globe autour d'un axe quelconque. C'est tout ce qu'il importe de savoir pour la physiologie de l'œil. Il ne faut pas croire que l'œil tourne plus souvent autour des axes que nous venons d'indiquer qu'autour des axes intermédiaires. Il semble en effet que les muscles sont innervés, tous les six, chaque fois que l'œil fait un mouvement quelconque ; l'axe autour duquel tourne l'œil est donc toujours différent des trois que nous venons de citer.

117. La loi de Listing. — Pour un point de fixation donné, en supposant la tête immobile, la position de l'œil est déterminée. Ceci est loin d'être évident *a priori*, car l'œil pourrait encore exécuter des rotations autour de la ligne visuelle. Chaque fois que le regard revient au même point, n'importe par quelle voie, l'œil reprend toujours la même position (*Donders*). Si, en fixant un ruban coloré tendu horizontalement, on produit une image secondaire et qu'ensuite on projette celle-ci sur un mur, tout en tenant la tête immobile, l'image prend une position qui n'est pas toujours horizontale, mais qui est toujours la même chaque fois que le regard revient à un point donné. Cette position est déterminée par la loi de *Listing*.

Il existe une certaine direction de la ligne visuelle par rapport à la tête, qu'on désigne sous le nom de *direction primaire* ; la position correspondante de l'œil se nomme *position primaire* et toute autre position (direction) est dite *secondaire*. La direction primaire correspond le plus souvent à la direction que prend la ligne visuelle lorsqu'on regarde l'horizon en donnant à la tête la position qui semble la plus naturelle; mais il arrive pourtant assez fréquemment qu'on est, dans ces circonstances, obligé de baisser un peu le regard pour mettre les yeux dans la position primaire. Dans ce cas, on est obligé d'incliner la tête un peu en arrière, pour rendre horizontale la direction primaire. Il faut se figurer cette direction comme invariablement liée au crâne, dont elle partage tous les mouvements.

Suivant la loi de *Listing*, *l'œil peut être porté de la position primaire dans une position secondaire quelconque par une rotation autour d'un axe perpendiculaire aux deux directions successives de la ligne visuelle.* Ceci nous définit en même temps la position primaire. — Les axes de *Listing* sont tous contenus dans un plan perpendiculaire à la direction

primaire et passant par le centre de rotation de l'œil. Ce plan est donc aussi invariablement lié au crâne.

Pour démontrer la loi de *Listing*, on se place à une distance de 1 ou 2 mètres d'un mur sur lequel on dispose une marque de fixation A (fig. 177), à la hauteur des yeux. Il est nécessaire d'assurer la position de

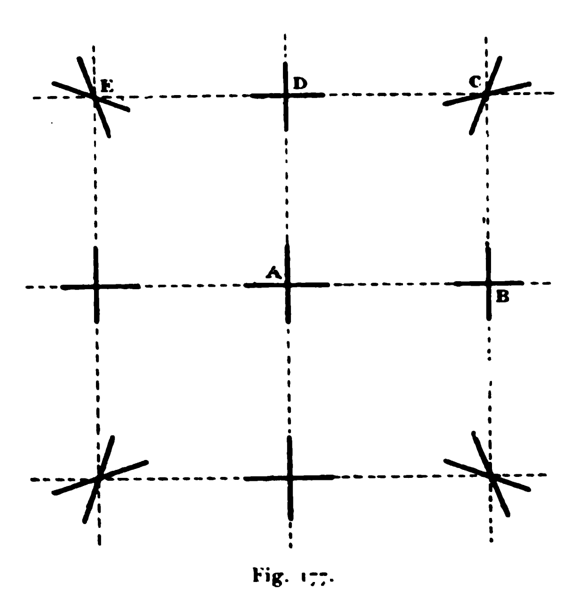


Fig. 177.

la tête. Si l'on ne veut pas faire des déterminations très exactes, une têtière, comme celle de l'ophtalmomètre de *Javal* et *Schioetz*, suffit. Si, au contraire, on désire une exactitude très grande, on se sert de la planchette de *v. Helmholtz*, dont le bord est garni de cire à cacheter. On serre la planchette entre les dents pendant que la cire est encore chaude, de sorte que celle-ci reçoit l'empreinte des dents. On fixe ensuite la planchette sur une colonne, de manière à pouvoir la tourner à droite et à gauche, ou l'incliner d'un nombre de degrés déterminé (*Hering*).

On place sur le mur, en A, une croix rectangulaire, de façon que ses bras soient horizontal et vertical. La croix doit contraster vivement avec le fond, pour permettre d'obtenir une image secondaire bien prononcée en la fixant pendant un peu de temps. On prend la planchette entre les dents et, en penchant la tête (avec la planchette) un peu en avant ou en arrière, ou en l'inclinant un peu à droite ou à gauche, on trouve une position telle, qu'en promenant le regard le long du prolongement de chacun des bras de la croix, l'image secondaire de ce bras glisse tout le temps sur elle-même (fig. 177). On remarque de suite qu'il existe une seule position de la tête pour laquelle cela est possible : pour toute autre position de la tête l'image secondaire de la croix tourne pendant le

déplacement du regard. Lorsqu'on a trouvé cette position de la tête, on fixe la planchette, de manière à pouvoir retrouver la position chaque fois qu'on prend la planchette entre les dents. Alors, lorsqu'on fixe le point A, l'œil est dans la position primaire. Supposons, en effet, qu'on fixe un second point B, situé sur le prolongement du bras horizontal : puisque le méridien, qui était horizontal en fixant A, l'est aussi en fixant B, il est clair que le regard peut être porté de A en B, par une rota-

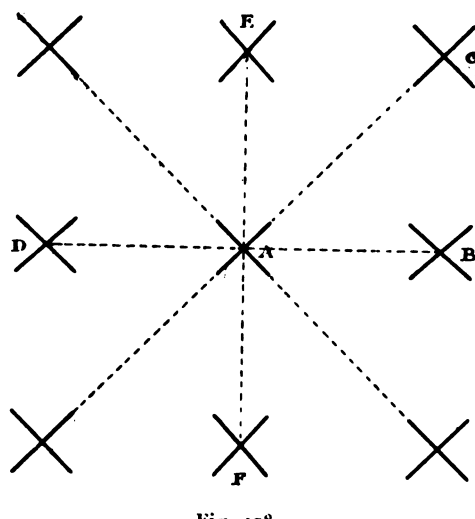


Fig. 178.

tion autour d'un axe vertical, c'est-à-dire autour d'un axe perpendiculaire aux deux directions de la ligne visuelle. Il en est de même pour le déplacement dans le sens vertical. Pour démontrer que c'est aussi le cas pour les déplacements obliques, on incline la croix (fig. 178). Il est alors facile de s'assurer que l'image secondaire de l'un des bras de la croix glisse tout le temps sur son prolongement, lorsque le regard suit ce prolongement, et que, par conséquent, l'œil tourne autour d'un axe perpendiculaire à ce méridien. La loi de *Listing* se trouve ainsi vérifiée.

Si, dans ces expériences, le regard ne suit pas le prolongement d'un des bras de la croix, on observe des phénomènes qui pourraient sembler en contradiction avec la loi de *Listing*. En fixant ainsi le point C (fig. 177), on remarque que l'image secondaire du bras vertical de la croix n'est plus verticale ; elle a subi une rotation, l'extrémité supérieure est portée à droite. Un peu de réflexion montre que c'est là une simple conséquence de la loi de *Listing* et que le méridien, qui était vertical en fixant A, ne peut pas rester vertical pendant que l'œil tourne autour d'un axe perpendiculaire sur la direction AC. *Donders* qui, le premier, a

décrit ce phénomène, l'attribuait à un *mouvement de roue* (*Raddrehung*) de l'œil, c'est-à-dire à une rotation autour de la ligne visuelle, mais il est clair qu'une telle rotation ne peut pas avoir lieu puisque l'axe de Listing est perpendiculaire à la ligne visuelle. — Le bras horizontal de la croix semble avoir subi une rotation en sens contraire, mais ce n'est là que le résultat de la projection de l'image secondaire sur un plan qui n'est pas perpendiculaire à la ligne visuelle. Si l'on projette l'image sur la surface concave d'un hémisphère creux, dans le centre duquel se trouve l'œil, la croix reste rectangulaire et semble avoir subi en totalité une rotation à droite (fig. 179). — Dans ces expériences,

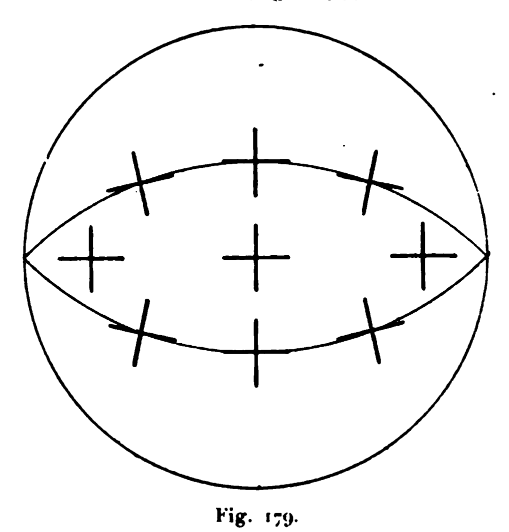


Fig. 179.

la position des deux yeux est exactement la même : on peut couvrir tantôt un œil, tantôt l'autre, la position de l'image secondaire ne change pas.

Il faut bien remarquer que l'œil *peut* être porté de la position primaire dans une position secondaire, en tournant autour de l'axe de *Listing*. Je ne dis pas qu'il fait en réalité ce mouvement, car la loi de *Listing* définit uniquement la position de l'œil en état de repos. — Nous ne savons rien ou presque rien sur la manière dont l'œil exécute ses mouvements. Il n'y a aucune raison d'affirmer qu'il tourne autour des axes de *Listing*, ni même d'admettre que le regard suit toujours le même chemin pour arriver d'un point à un autre. La meilleure méthode pour étudier cette question serait probablement de porter le regard vivement d'un point à l'autre, en laissant l'œil exposé à une lumière assez intense. L'image secondaire de la source lumineuse prend alors la forme d'une ligne qui permet de conclure à la nature du mouvement.

Ce que nous avons dit suffit pour déterminer n'importe quelle position de l'œil. Si le regard passe d'une direction secondaire à une autre, la

position de l'œil est néanmoins déterminée par la loi de *Listing*, puisque, arrivé dans sa nouvelle position secondaire, il faut qu'il ait la même position que s'il y était arrivé en partant de la position primaire. Remarquons que le regard *ne peut pas* être porté d'une position secondaire dans une autre en tournant autour d'un axe perpendiculaire aux deux directions de la ligne visuelle. Car, si le regard va de B en C (fig. 177), en suivant le prolongement du bras vertical, on remarque que l'image secondaire de ce bras sort du prolongement et tourne de plus en plus, de manière à avoir la position qu'il devra avoir quand le regard sera arrivé en C. En faisant ce mouvement du regard, l'œil ne tourne donc pas autour d'un axe perpendiculaire sur la ligne visuelle, et on peut dans ce cas parler d'un véritable *mouvement de roue*. Si l'on déplace le regard de façon que l'image secondaire glisse tout le temps sur elle-même, le point de fixation décrit une courbe dont la convexité est tournée vers le point A. Il en est de même pour le bras horizontal : si l'on déplace le regard de C en E, de manière à ce que son image secondaire glisse sur elle-même, on obtient une courbe convexe vers le bas. L'illusion suivante, décrite par *v. Helmholtz*, résulte de ce fait.

Si, après avoir fixé le point A dans la position primaire, on lève les yeux et parcourt vivement du regard une droite horizontale située en haut, elle paraît concave vers le bas (comparez p. 199). Cela tient à ce que les directions obliques du regard sont très rares. En général, on a soin, lorsqu'on veut regarder un objet quelconque, de tourner la tête de telle manière que les yeux se trouvent à peu près dans leur position primaire et que des lignes horizontales se dessinent sur l'*horizon rétinien* (le méridien de la rétine qui est horizontal dans la position primaire : dans l'expérience de la figure 177, l'horizon rétinien est marqué par l'image secondaire du bras horizontal de la croix). A cause de cette habitude, on a une tendance à considérer la direction de l'horizon rétinien comme horizontale, même lorsqu'elle ne l'est pas. En regardant en haut et à gauche, l'horizon rétinien penche son extrémité droite en bas, et, si l'on considère cette direction comme horizontale, il en résulte que la droite qu'on observe doit paraître pencher à gauche ; lorsque le regard arrive à l'autre extrémité, celle-ci semblera pencher à droite ; c'est ainsi que la ligne prend son aspect courbe, mais il faut la parcourir vite, autrement elle semble plutôt pencher tantôt à droite, tantôt à gauche.

Autre méthode pour démontrer la loi de Listing. — Comme l'horizon rétinien passe par la papille, on peut employer la position de la tache de *Mariotte* pour se rendre compte de sa direction. *Fick* dessina, sur un

carton mobile autour d'un point O, une tache noire juste assez grande pour disparaître dans la tache de Mariotte, lorsqu'il fixait le point O dans la position primaire. En tournant la tête à droite ou à gauche et en l'inclinant en même temps, pendant qu'il continuait à fixer le point O, la tache réapparaissait et on mesurait alors combien il fallait tourner le carton pour le faire disparaître de nouveau. — En procédant ainsi, on trouve, comme par la méthode précédente, que les yeux suivent assez exactement la loi de *Listing*, au moins tant que les lignes visuelles restent parallèles.

118. Expériences de Meissner. — Méridien apparemment vertical. — Il existe une autre méthode qui a été indiquée par *Meissner* et qui permet de vérifier la loi de *Listing* d'une manière très exacte. Mais, avant d'exposer cette méthode, je suis obligé de mentionner un phénomène singulier qu'on rencontre lorsqu'on veut juger si une ligne est verticale ou non.

On tend un fil à plomb devant un mur peint uniformément et on fixe un point situé un peu en avant de ce fil (1) : on voit alors celui-ci en images doubles homonymes et on devrait s'attendre à voir deux fils verticaux et parallèles ; mais les deux fils semblent converger vers le haut : vu avec l'œil droit, le fil semble pencher son extrémité supérieure à gauche. Si on fixe un point situé derrière le fil, les images sont croisées et semblent converger en bas. Une ligne verticale vue avec un seul œil ne paraît donc pas verticale, mais semble pencher l'extrémité supérieure à gauche ou à droite, suivant que c'est l'œil droit ou l'œil gauche qui la regarde. — En regardant une croix rectangulaire dont l'un des bras est horizontal et l'autre vertical, les deux angles supérieur droit et inférieur gauche paraîtront, pour l'œil droit, plus grands que les deux autres, tandis que le contraire a lieu pour l'œil gauche.

Puisque, pour l'œil droit, une ligne verticale paraît pencher à gauche, il doit exister une ligne penchant à droite qui semble verticale. On peut déterminer la direction de cette ligne en observant un disque blanc mobile autour de son centre et sur lequel on a tracé un diamètre. Le long du bord se trouve une échelle graduée en degrés, dont le zéro correspond à la verticale, et qui doit être placée de manière à ne pas être visible. L'observateur cherche à tourner le disque de manière à placer le diamètre verticalement. Avec l'œil droit il place presque

(1) Il ne faut pas se placer trop près du fil, pour que l'influence de la convergence, dont je parlerai tout à l'heure, n'intervienne pas.

toujours l'extrémité supérieure quelques degrés trop à droite, avec l'œil gauche quelques degrés trop à gauche. Pour le méridien horizontal, le phénomène est moins prononcé. — Il faut arranger l'expérience de façon que l'observateur ne puisse pas se guider par la vue des objets environnants.

Une autre méthode, pour déterminer l'angle entre les méridiens apparemment verticaux des deux yeux, a été indiquée par *Volkmann* (fig. 180). Il plaça deux petits disques tournants sur un mur vertical, de telle sorte que la distance séparant leurs centres fût égale à la distance entre les yeux. Sur chaque disque était tracé un rayon. Il observa

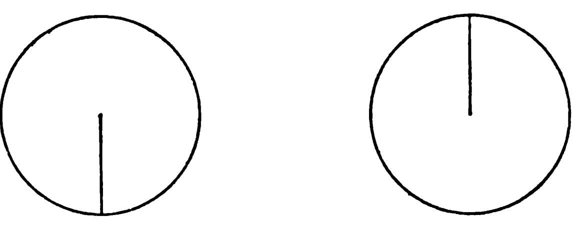


Fig. 180. — Disques de Volkmann.

les disques comme avec un stéréoscope, l'œil droit fixant le disque de droite, l'œil gauche celui de gauche. Il plaça l'un des rayons verticalement et essaya ensuite de placer l'autre de façon que les deux rayons parussent former une seule droite ; il fallait qu'ils formassent un angle d'environ deux degrés. — Parmi les épreuves stéréoscopiques qui accompagnent le manuel de strabisme de *Javal*, plusieurs représentent de petits disques analogues à ceux de *Volkmann* et sur lesquels les deux rayons sont rigoureusement parallèles. En confondant les deux disques, ils en forment un seul, mais le diamètre paraît brisé ; les deux rayons semblent former un angle obtus. Si l'on présente à l'œil droit la figure qui était destinée à l'œil gauche, l'angle semble tourné en sens opposé.

Il est probable que ces phénomènes sont dus au rôle prépondérant que joue dans notre vie le regard en bas : nous regardons en bas en lisant, en nous promenant le regard suit le plus souvent le sol, etc. En répétant l'expérience de *Meissner*, on trouvera que les deux images paraissent parallèles si l'on rapproche l'extrémité inférieure du fil vers l'observateur, jusqu'à ce qu'il ait, par rapport à la ligne de regard, à peu près l'inclinaison qu'a ordinairement une feuille de papier sur laquelle on lit. Si l'on trace une ligne droite sur une feuille de papier placée sur une table de façon que cette ligne se trouve dans le plan médian de l'observateur, en se plaçant dans la position qu'on prend ordinairement pour lire ou pour écrire et en mettant les lignes visuelles en parallélisme, on

voit que les deux images de la ligne paraissent parallèles. En jetant un coup d'œil sur la figure 181, dans laquelle les yeux sont figurés projetés sur la table, il est facile de voir que l'extrémité de la ligne la plus rapprochée, A, de l'observateur, forme ses images sur des parties plus périphériques des rétines que l'extrémité B. Les deux méridiens des rétines qui reçoivent les images convergent donc en bas, puisque l'extrémité A forme son image plus haut et plus vers la périphérie que l'extrémité B. Nous avons formé notre jugement d'après cette expérience, et lorsque, dans d'autres circonstances, une ligne vient former son image sur ce méridien, nous la considérons comme située dans le plan médian. D'après *Javal*, les expériences d'établissement de la vision binoculaire chez les strabiques confirment absolument les explications qui précèdent.

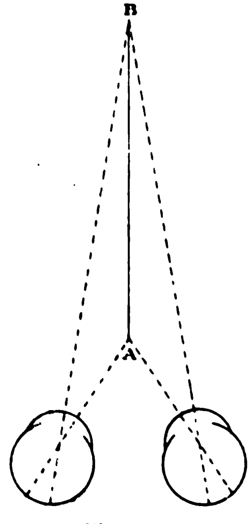


Fig. 181.

On conçoit qu'on puisse employer ces méthodes, sinon pour vérifier la loi de *Listing* directement, au moins pour comparer la position des deux yeux. En travaillant dans la position primaire, et les deux lignes visuelles parallèles, *Volkmann* avait trouvé qu'il fallait donner aux rayons de ses disques des directions convergeant d'environ deux degrés vers le bas, pour qu'ils parussent former une ligne non brisée. En laissant les lignes visuelles parallèles, il trouva le même angle pour toutes les directions secondaires, et la loi de *Listing* se trouva ainsi vérifiée. Il en est autrement lorsqu'on converge. Après avoir placé les yeux dans la position primaire, *Volkmann* convergea pour un point situé à 30 centimètres dans le même plan horizontal. Puisque, dans ces circonstances, les yeux passaient de la position primaire dans une position interne, la loi de *Listing* aurait exigé que les directions des deux rayons continuassent à former un angle de deux degrés ; mais *Volkmann* trouva qu'il fallait augmenter leur inclinaison jusqu'à 4° pour que la ligne résultante fût vue non brisée. En convergeant, chaque œil avait donc fait un mouvement de roue d'un degré, qu'il n'aurait pas fait en prenant la même position, les lignes visuelles étant parallèles. Les yeux ne suivent donc pas exactement la loi de *Listing* quand les lignes visuelles ne sont pas parallèles. *Hering*, et plus tard *Landolt*, ont fait des séries d'expériences du même genre, avec différents degrés de convergence, et ont parfois trouvé des écarts encore plus grands de la loi de *Listing*, lorsque les lignes visuelles ne sont pas parallèles.

119. Historique. — La question de savoir si l'œil exécute des mouvements de roue autour de la ligne visuelle a été très discutée. *Hueck* croyait avoir observé que l'œil subit une rotation en sens inverse lorsqu'on penche la tête vers l'épaule, de sorte que le méridien de la rétine, qui est vertical dans les circonstances ordinaires de la vie, reste vertical. Il attribua cette rotation aux contractions des muscles obliques, et ses idées furent partagées par le monde savant, jusqu'à ce que *Ruete* eût démontré l'erreur de *Hueck* au moyen de l'examen avec les images secondaires, et donné l'explication juste de l'action des obliques. *Donders* reprit la question et énonça une loi qui porte son nom, d'après laquelle la position de l'image secondaire est toujours la même pour une même direction de l'œil; mais la question ne fut tirée au clair que par l'énoncé de la loi de *Listing*, qui se trouve pour la première fois dans le traité de *Ruete* de 1853. *Listing* ne l'a pas publiée lui-même. *Meissner* fut le premier qui vérifia cette loi par des expériences.

D'après les expériences de *Ruete* et *Donders*, tout le monde admettait que les mouvements de roue de *Hueck* n'existaient pas, lorsque *Javal* démontra que l'œil exécute néanmoins une rotation très faible dans ce sens. Il avait en effet remarqué que la direction de l'axe de ses verres cylindriques ne coïncidait plus avec celle de son astigmatisme, lorsqu'il inclinait la tête à droite ou à gauche. C'est peut-être là l'épreuve la plus exacte pour voir si les verres sont bien placés. *v. Helmholtz* vérifia le fait en plaçant à la hauteur des yeux une petite bande colorée sur un montant fixé sur sa planchette. En inclinant la tête avec la planchette, l'image secondaire tournait un peu en sens opposé, de façon à ne plus coïncider avec le ruban.

Bibliographie. — *Œuvres de Young*, éd. Tscherning, p. 145. — Hueck. *Die Achsendrehung des Auges.* Dorpat, 1838. — Donders (F. C.). *Holländische Beitraege*, 1848. — Ruete. *Lehrbuch der Ophthalmologie*, 1853. — Fick. (A.). *Die Bewegungen des menschlichen Augapfels.* Zeitschrift für rat. Medizin IV. 1854. — Meissner (G.) *Die Bewegungen des Auges. Arch. f. Ophth.* II, 1. 1855. — v. Helmholtz. *Ueber die, normalen Bewegungen des menschlichen Auges. Arch. f. Ophth.* IX, 2, 1863. — Volkmann (A.-W.). *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik.* II. Leipzig, 1864. — Donders et Doyer dans Donders. *Anomalies of the refraction of the eye.* London, 1864, p. 180. — Javal (E.). dans de Wecker. *Traité des maladies des yeux*, I, p. 815, Paris, 1866. — Tscherning (M.). *La loi de Listing.* Paris, 1887.

CHAPITRE XX

LES MOUVEMENTS OCULAIRES

120. Mouvements saccadés des yeux. — Il semble que l'œil doit se tenir immobile pour obtenir une impression, au moins une impression qui puisse être perçue avec un peu de netteté. Si, dans un train de chemin de fer qui marche à toute vitesse, on fixe un point de la vitre, le paysage paraît confus, les images de ses différentes parties se succédant trop vite sur la rétine pour pouvoir être perçues nettement. En observant les yeux de quelqu'un qui regarde le paysage, on voit qu'ils se meuvent par saccades. Les yeux de la personne observée font alternativement un mouvement rapide suivant la direction du train, pour saisir l'objet, et un mouvement plus lent dans la direction opposée, pour maintenir l'image de l'objet sur la *fovea*. Puis ils font de nouveau un mouvement rapide avec le train pour saisir un nouvel objet, et ainsi de suite.

L'œil ne peut pas fixer un même point pendant un peu de temps sans qu'il se forme des images secondaires qui gênent la vision et sans que le phénomène de *Troxler* intervienne. Les yeux sont donc dans un mouvement perpétuel qui se fait par saccades : ils fixent un point, font un mouvement, fixent un autre point, et ainsi de suite. Pendant la lecture, les yeux se meuvent ainsi par saccades, quatre ou cinq pour chaque ligne d'un livre ordinaire. *Lamare* a construit un petit appareil, formé par une pointe qui s'appuie sur l'œil à travers la paupière supérieure et qui est relié aux oreilles de l'observateur par des tuyaux de caoutchouc. Avec cet appareil, chaque mouvement de l'œil fait percevoir un bruit. On entend quatre ou cinq petits bruits pendant la lecture d'une ligne et un bruit plus fort lorsqu'on en commence une nouvelle.

121. Mouvements relatifs des deux yeux. — Les mouvements relatifs des deux yeux sont gouvernés par le besoin de voir l'objet simple. Il faut pour cela qu'il se forme sur chaque fovea une image de l'objet fixé. Lorsque après avoir regardé un objet à une certaine distance on en regarde un autre situé à la même distance, les deux yeux font des mouvements *associés* : ils tournent tous les deux à droite ou tous les deux à gauche, en haut, etc., et autant l'un que l'autre. Si les deux objets se trouvent tous les deux dans le plan médian, mais à différentes distances, il faut, pour porter le regard du plus éloigné vers le plus rapproché, que les yeux fassent un mouvement de convergence : ils se tournent tous les deux en dedans de la même quantité ; enfin, si les deux objets se trouvent dans des directions différentes, le second plus près que le premier, les yeux exécutent une combinaison d'un mouvement associé et d'un mouvement de convergence. — Si le second objet est situé plus loin que le premier, les yeux font un mouvement de divergence (convergence négative).

Il est impossible de faire faire un mouvement à un œil sans que l'autre se meuve aussi ou au moins sans qu'il ait une tendance à se mouvoir. Une expérience très simple semblerait indiquer le contraire. Supposons que les deux yeux fixent un point *a* et qu'on place sur la ligne visuelle de l'œil droit un objet *b*. Si l'on demande à l'observé de fixer *b*, l'œil gauche se dirige vers ce point, tandis que l'œil droit reste immobile. Mais, si on l'observe bien, on verra que cet œil exécute en réalité de tout petits déplacements, car, au lieu de ne recevoir aucune innervation, comme on pourrait le croire, ses muscles en reçoivent deux, une qui lui ferait faire un mouvement associé (à droite) et une autre qui lui ferait faire un mouvement de convergence (à gauche) ; les résultats de ces deux innervations se compensent, de sorte que l'œil reste immobile. C'est *Hering* qui a indiqué cette expérience dont l'importance est grande pour l'intelligence de la relation entre les mouvements des deux yeux.

Les deux espèces de mouvements dont nous avons parlé sont les seuls que les yeux aient habituellement à faire dans l'intérêt de la fusion, et ce sont les seuls qu'ils *puissent* faire. Il est pourtant possible de les faire diverger un peu — je veux parler de divergence absolue et non de la divergence relative, qui n'est qu'un degré moindre de convergence. — On peut rendre cette divergence nécessaire pour la fusion en plaçant devant un œil un prisme dont on tourne l'arête en dehors ; mais l'angle du prisme que les yeux peuvent ainsi surmonter ne dépasse guère 5°. On ne peut pas non plus lever le regard d'un œil tout en laissant l'autre immobile ; mais, en plaçant devant un œil un prisme très

faible l'arête en haut, cet œil dévie pourtant un peu en haut dans l'intérêt de la fusion. Le prisme qu'on peut ainsi surmonter ne dépasse généralement pas 2° ou 3°.

Ces particularités des mouvements oculaires ne sont évidemment pas dues à l'appareil musculaire. Rien n'empêche en effet l'œil droit de faire une excursion à droite, mais il ne peut pas la faire pendant que l'œil gauche fait une excursion à gauche. Si l'on ne peut pas exécuter les deux mouvements à la fois, cela tient à ce qu'on ne peut pas donner l'innervation nécessaire à ce mouvement. Et nous ne pouvons pas donner cette innervation parce que nous n'avons pas l'habitude de la donner, puisque, loin d'être utile, elle serait nuisible, par la diplopie à laquelle elle donnerait nécessairement lieu. — L'innervation qui guide les mouvements oculaires est, jusqu'à un certain point, analogue à celle qui nous fait tenir les yeux ouverts et la tête droite, avec cette différence toutefois que l'innervation qui guide les mouvements des yeux est bien plus rigoureuse ; nous pouvons baisser la tête ou fermer les yeux si cela nous plaît, mais nous ne pouvons mettre les yeux en divergence. L'innervation en question disparaît pendant le sommeil. En luttant contre le sommeil, on remarque de la diplopie, et les deux images affectent des positions relatives qu'elles n'ont jamais à l'état de veille. Les images homonymes que nous obtenons en louchant volontairement sont toujours parallèles, si j'excepte les phénomènes mentionnés dans le chapitre précédent, et elles sont à la même hauteur (si l'on tient la tête droite). Les images qu'on obtient lorsque le sommeil s'annonce, ont, au contraire, des positions tout à fait irrégulières : tantôt l'une est plus élevée que l'autre, tantôt elles subissent des rotations, etc. En même temps, les paupières ont une tendance à se fermer et la tête à tomber.

122. Mensuration de la convergence. — Cette mensuration se fait le mieux avec le prisme variable de *Crétès*. On sait que cet instrument est composé de deux prismes superposés, de la même force. Un mécanisme spécial permet de les tourner en sens inverse l'un de l'autre. Lorsque les arêtes ont la même direction, l'effet est le double de celui de chacun des prismes. Si on les fait tourner, la déviation a toujours lieu dans la même direction, mais elle diminue graduellement et devient nulle lorsque les arêtes sont dirigées en sens opposé. L'instrument remplace donc toute une série de prismes de force différente.

On place le prisme avec l'arête en dehors pendant que le malade regarde une flamme éloignée, et on augmente la force du prisme jusqu'à ce que le sujet voie deux images de la flamme. On trouve ainsi l'*abduc-*

tion ; pour les yeux sains, elle est de cinq à sept degrés de prisme. On tourne ensuite le prisme l'arête en dedans et on augmente sa force jusqu'à la production de la diplopie. L'*adduction* est bien plus forte que l'abduction ; elle peut atteindre 20° à 30° de prisme ou davantage. On peut aussi mesurer l'adduction et l'abduction pour un point plus rapproché. L'adduction dépasse souvent la valeur maximum du prisme de Crétès, et d'un autre côté il arrive assez souvent qu'elle est plus grande qu'on ne la trouve, parce que le sujet observé n'emploie pas tous ses efforts pour fusionner les images. Aussi vaut-il mieux mesurer l'adduction simplement en essayant combien on peut approcher un objet sans qu'il paraisse double (ophtalmo-dynamomètre de *Landolt*). — On rencontre quelquefois des cas rares de *défaut de convergence*, où l'adduction est fortement diminuée, tandis que l'abduction est normale. — Dans d'autres cas, toutes deux sont amoindries : le malade peut bien fusionner deux images qui se forment sur les deux macula, mais il n'éprouve pas le *besoin de fusionner* ; même si les images doubles se trouvent très près l'une de l'autre, les yeux ne font pas le petit mouvement nécessaire pour les fusionner.

Nous avons vu (p. 11) que la déviation produite par un prisme correspond à peu près à la moitié de son angle. Si l'on peut surmonter un prisme de 6° l'arête en dehors, cela veut donc dire qu'on peut faire diverger les lignes visuelles de 3°. Cette manière d'indiquer le degré de la déviation est la plus simple et c'est celle qu'on emploie le plus souvent. On a essayé d'introduire une autre notation indiquée d'abord par *Javal* et ensuite reprise par *Nagel*. Cet auteur nomme *angle métrique* la déviation que subit l'une des lignes visuelles lorsque, après avoir fixé un point à l'infini, on regarde un point situé à 1 mètre de distance sur la ligne visuelle de l'autre œil. ω (fig. 182) est donc un angle métrique, si A est situé à une distance de 1 mètre, deux angles métriques si A est à 50 centimètres, et ainsi de suite. Le système a été inventé pour mesurer la convergence d'une manière analogue à la mensuration en dioptries qu'on emploie pour la réfraction (l'accommodation). L'angle métrique correspond à environ trois degrés et demi. — Ce système ne semble guère offrir d'avantages, et il a un inconvénient assez sérieux, la valeur d'un angle métrique n'étant pas la même pour les différentes personnes. Elle varie avec la *ligne basale*.

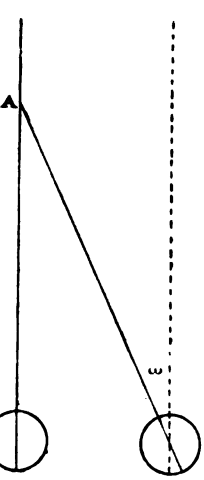


Fig. 182.

On désigne sous ce nom la distance entre les centres de rotation des

deux yeux ; elle varie entre 66 millimètres et 58 millimètres, ou encore moins. On peut la mesurer en visant vers un objet éloigné, un paratonnerre par exemple, le long de la surface d'une planchette tenue horizontalement. On ferme un œil et on fixe une épingle dans la planchette, de manière à ce qu'elle paraisse coïncider avec le paratonnerre. L'épingle ne doit pas être placée trop près de l'œil, pour que son image ne soit pas trop diffuse. Ensuite on répète l'expérience avec l'autre œil sans déplacer la tête ; en ouvrant les deux yeux, il faut voir les deux épingles confondues en une seule qui coïncide avec le paratonnerre. La distance entre les épingles est alors égale à la ligne basale. — On trouve ainsi des variations assez grandes, surtout si on examine aussi les enfants, dont la ligne basale est évidemment très courte.

Or, il est clair que la déviation que l'œil doit subir, pour arriver de l'infini à 1 mètre de distance, est d'autant plus considérable que la ligne basale est plus grande. — Un angle métrique correspond à 3°40′ pour une personne qui a une ligne basale de 64 millimètres, à 3°20′ si la ligne basale est de 58 millimètres. Pour bien faire, il faudrait donc, chaque fois qu'on mesure la convergence en angles métriques, indiquer aussi la longueur de la ligne basale.

Prentice a proposé de numéroter les prismes d'après la déviation linéaire qu'ils produisent à une distance donnée, en faisant remarquer qu'à une distance de 1 mètre la déviation produite par un prisme de un degré est d'environ 1 centimètre.

123. Relations entre l'accommodation et la convergence. — Dans l'intérêt de la vision simple et nette, il faut qu'il se forme sur chaque *fovea* une image nette de l'objet fixé. Pour que les images se forment sur les deux foveas, il faut que l'individu fasse converger les yeux vers l'objet observé, et pour que les images soient nettes, il faut qu'il accommode exactement pour l'objet. Il s'est ainsi formé une relation entre l'accommodation et la convergence, de sorte que nous ne pouvons pas facilement converger vers un objet sans aussi accommoder pour cet objet. La règle n'est pourtant pas absolue ; nous pouvons, si cela est nécessaire pour la netteté de la vision, changer dans certaines limites le degré de l'accommodation sans changer le degré de la convergence. Ce jeu de l'accommodation possible pendant que la convergence reste la même porte le nom d'*amplitude relative de l'accommodation* (*Donders*). On peut mesurer cette amplitude en plaçant des verres convexes et concaves devant les yeux, jusqu'à ce que l'objet paraisse double ou diffus.

Bibliographie. — Javal (E.). Dans de Wecker. *Traité des maladies des yeux*. Paris, 1866. — Donders. *Anomalies of the refraction of the eye*. London, 1864. — Nagel (A.). *Ueber die Beziehungen dioptrischer Werthe und der Betraege symmetrischer Convergenzbewegungen nach metrischen Einheiten. Mittheilungen aus der ophtalmiatrischen Klinik in Tübingen*. Tübingen, 1880. — Lamare. *Les mouvements des yeux dans la lecture. Bull. de la Soc. fr. d'opht.* 1882, p. 354. — Prentice (Ch.-F.). *Ein metrisches System zur Bezeichnung u. Bestimmung v. Prismen. Archiv. f. Augenheilk.* XXII, p. 215.

CHAPITRE XXI

LA PROJECTION DES IMPRESSIONS VISUELLES EN DEHORS

124. La projection en dehors dans la vision unioculaire. — Pour pouvoir se former une idée juste de la position d'un objet extérieur, il faut être renseigné sur la direction et sur la distance de cet objet. L'appréciation de la direction se fait aussi bien ou mieux avec un seul œil ; la supériorité de la vision binoculaire apparaît pour l'appréciation de la distance, mais en même temps elle donne lieu sur la direction à certaines illusions dont les borgnes sont exempts. Nous allons d'abord nous occuper de la vision de ces derniers.

Loi générale de la projection. — Une impression d'un point quelconque de la rétine est projetée en dehors dans le champ visuel, suivant la *ligne de direction*, c'est-à-dire suivant une ligne droite passant par le point rétinien et le point nodal de l'œil. Nous avons vu qu'inversement, un point extérieur pour lequel l'œil est au point vient former son image au point d'intersection de la ligne de direction avec la rétine. Tant qu'il ne s'agit que d'objets vus nettement, la loi des projections revient donc à dire que nous voyons les objets extérieurs dans la direction où ils se trouvent réellement. La loi des projections ne s'applique pas seulement aux phénomènes ordinaires de la vision : toutes les impressions rétiniennes, les phosphènes, les images secondaires, les phénomènes entopiques, les cercles de diffusion, etc., sont projetés suivant cette loi qui est tout à fait générale. Comme exceptions on ne peut guère citer que les déformations des objets vus indirectement, lesquelles semblent montrer que la loi n'est pas suivie très exactement pour les parties très périphériques de la rétine, et peut-être quelques-unes des illusions que je mentionnerai dans la suite.

125. La projection du champ visuel. — La loi que nous venons d'énoncer règle la manière dont nous localisons les objets dans le champ visuel, mais elle ne règle pas la projection du champ visuel dans son ensemble. Celle-ci dépend de la manière dont on juge la position de l'œil ou plutôt la direction de la ligne visuelle. Si, dans la vision uniocu-laire, on juge correctement la direction de la ligne visuelle, tout le champ visuel est projeté d'une manière correcte. Nous allons donc nous occuper des moyens par lesquels nous portons ce jugement.

Admettons qu'on fixe un point A et qu'on veuille en fixer un autre B. Tant qu'on fixe A, B est vu en vision indirecte, et la distance entre les images nous permet d'apprécier le degré d'innervation nécessaire pour porter le regard vers B ; en général, cette appréciation est assez exacte, de sorte que nous portons le regard vers B presque sans tâtonnement. De l'innervation résulte la contraction des muscles, le changement de la position de l'œil et le changement de l'image rétinienne jusqu'à ce que B forme son image sur la *fovea*. — On pourrait croire que la sensation de la contraction plus ou moins forte des muscles, du glissement de l'œil entre les paupières, etc., puisse nous fournir des renseignements sur la direction de la ligne visuelle, mais il n'en est rien : nous jugeons cette direction uniquement d'après le degré d'innervation que nous avons employé pour porter le regard dans cette direction. Ce fait est bien établi par l'observation de malades atteints de paralysies oculaires. Si, par exemple, on dit à un malade atteint d'une paralysie du droit externe de fermer l'œil gauche et de regarder à droite, il fournit l'innervation nécessaire ; l'œil reste immobile à cause de la paralysie, mais le malade croit l'avoir porté à droite, de sorte qu'il en résulte une projection fausse ; si l'on dit au malade d'avancer rapidement le doigt vers un objet situé à droite, n'ayant pas le temps de se guider d'après la vue du doigt, il le porte constamment trop à droite. Une personne saine peut faire l'expérience en regardant d'un côté pendant qu'elle exerce une traction dans la direction opposée sur un pli de la peau, près du canthus externe. La traction se communique par la conjonctive au globe et, à cause de la résistance qu'elle exerce, on est obligé d'employer une innervation plus forte pour porter le regard du côté opposé ; on en conclut que le regard est porté plus loin dans cette direction qu'il ne l'est en réalité, ce qui fait qu'on projette le champ visuel d'une manière fausse.

L'appréciation du degré d'innervation employé est très exacte, parce qu'elle est tout le temps corrigée par le résultat obtenu, comme le montre l'expérience suivante. On regarde droit devant soi, après avoir mis un prisme de 10° l'arête à gauche devant chaque œil. Vu à travers les

prismes, un objet situé à 10° à droite paraît rapproché de 5° de la ligne visuelle, et on n'a besoin que d'une innervation correspondant à 5° pour le fixer ; on croit donc qu'il est situé à 5° à droite, et, si l'on veut le saisir, on ne porte pas la main assez à droite. Mais il suffit de répéter l'expérience un petit nombre de fois pour ne plus se tromper : on apprend très rapidement à compter avec les prismes. Si ensuite on répète l'expérience après les avoir enlevés, on porte la main trop à droite.

Lorsqu'on apprécie correctement la direction de la ligne visuelle, il n'y a dans la vision monoculaire aucune illusion possible sur les directions où se trouvent les objets. En mathématiques, on détermine souvent la position d'un point au moyen de ce qu'on appelle des coordonnées polaires. Etant donné un point fixe, nommé *centre des coordonnées*, la position d'un autre point quelconque est déterminée par la direction et la longueur du *rayon vecteur*, c'est-à-dire de la ligne qui joint les deux points. Dans la vision unioculaire, le centre des coordonnées est représenté par l'œil ou plus exactement par son point nodal ; la loi des projections donne la direction du rayon vecteur. Pour connaître la position exacte du point extérieur, il ne manque donc que la longueur du rayon vecteur, mais celle-là, l'œil ne la donne pas, au moins pas d'une manière directe.

Il est facile, en effet, de se persuader que, tandis que l'œil nous renseigne très exactement sur la direction d'où vient la lumière, il ne nous donne aucune indication sur la distance d'où elle vient. L'indication que le degré plus ou moins fort de l'accommodation employée pourrait fournir est trop indécise. — Dans le chapitre x j'ai insisté sur l'importance que l'étude de la forme sous laquelle est vu un point lumineux éloigné peut avoir pour la connaissance exacte de l'optique de l'œil. On pourrait croire qu'on peut remplacer le point lumineux éloigné par un point lumineux voisin, placé au foyer d'une forte lentille. Si l'œil pouvait nous renseigner sur la distance d'où lui vient la lumière, le résultat des deux expériences devrait être le même, puisque les rayons arrivant à l'œil sont parallèles dans les deux cas. Mais il n'en est rien. D'autres indications nous apprennent en effet que, dans le dernier cas, le point lumineux est très près, ce qui nous fait voir la figure de diffusion extrêmement petite et rend cette forme de l'expérience peu recommandable. — On sait aussi que les images secondaires nous paraissent grandes ou petites, suivant que nous les projetons sur une surface éloignée ou rapprochée, ce qui montre bien que l'œil ne leur attribue pas une distance propre. Si on ne leur présente pas une surface sur laquelle elles peuvent se projeter, par exemple en fermant les yeux, elles semblent en général avoir la même grandeur apparente que l'objet

dont elles sont l'image ; on leur attribue la distance de cet objet, une distance qui ne nous est pas indiquée par une sensation directe, mais que nous jugeons par un raisonnement inconscient, comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

126. La projection dans la vision binoculaire. — *Les impressions des deux macula sont projetées vers le même endroit.* Lorsque les yeux fonctionnent correctement, ils fixent toujours le même objet tous les deux, de sorte que, dans ces circonstances, le fait énoncé n'a rien d'étonnant. Mais il en est de même lorsqu'ils ne fixent pas le même objet, comme il résulte entre autres des expériences stéréoscopiques. L'expérience suivante me semble démontrer ce fait d'une manière très frappante, mais il faut savoir loucher pour la répéter. Il est assez facile d'apprendre à loucher en dedans ; pour loucher en dehors, on saisit un pli de la peau près du canthus externe d'un œil, pendant qu'on regarde du côté opposé. — Pour faire l'expérience, on ferme un œil et on regarde avec l'autre une flamme, de manière à produire une image secondaire. On ouvre ensuite l'œil fermé et on choisit un point qu'on fixe *avec cet œil*, pendant qu'on se met à loucher. On voit alors l'image secondaire se placer sur le point de fixation, bien que la ligne visuelle de l'œil auquel il appartient ne soit nullement dirigée vers ce point. On peut loucher plus ou moins fortement, placer la ligne visuelle en divergence ou en convergence : tant que l'autre œil fixe le point de fixation, l'image secondaire s'y place aussi.

Diplopie binoculaire physiologique. — Soit A (fig. 183) un objet que fixent les deux yeux, B un autre objet plus rapproché. Si l'on ferme l'œil droit, le point B est vu cinq degrés à droite de A ; si l'on ferme l'œil gauche, il est vu cinq degrés à gauche de A. En ouvrant les deux yeux, A est vu simple à la place qu'il occupe en réalité ; de B on voit deux images, l'une cinq degrés à gauche, l'autre cinq degrés à droite de A. — On voit donc B en images doubles croisées ; si on fixe B, A se présente en images doubles homonymes. — On peut faire l'expérience avec deux bougies et, s'il en est besoin, on peut rendre la diplopie plus frappante en mettant un verre rouge devant un œil.

Ce singulier phénomène, qui a déjà été décrit par *Alhazen*, est connu sous le nom de *diplopie binoculaire physiologique.*

Centre des projections. — On remarque que les renseignements justes que nous fournissent les yeux donnent lieu à une interprétation fausse, car il est évident que, lorsqu'un objet est vu double, il y a au moins une des images qui ne coïncide pas avec l'objet. Lorsqu'on ferme un

œil, l'image correspondante disparaît, tandis que l'autre image ne change pas de place. Le jugement faux doit donc persister aussi dans ce cas au moins pour l'un des yeux. La vue des personnes normales ne devient donc pas nécessairement pareille à celle des borgnes en fermant un œil.

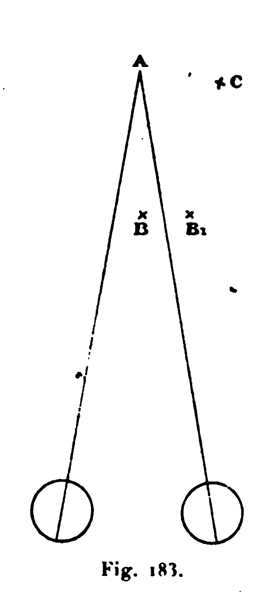


Fig. 183.

La diplopie physiologique tient à ce que nous ne nous rendons pas compte de la position différente des deux yeux ; sans un examen spécial, nous ne pouvons même pas dire si une image appartient à l'un ou à l'autre œil. Nous rapportons toute impression visuelle, de quelque œil qu'elle provienne, à un centre commun et unique, qui, chez moi, coïncide assez exactement avec l'œil droit. Restant dans les termes mathématiques que nous avons employés dans le chapitre précédent, on peut dire que c'est le centre des coordonnées dont on juge mal la position. Si on se rendait compte de la position différente des deux yeux, on aurait deux centres de coordonnées et l'idée de la direction de l'objet suffirait pour déterminer complètement sa position. Dans l'expérience de la figure 183, on se ferait ainsi le raisonnement suivant : puisqu'on voit avec l'œil droit un objet cinq degrés à gauche de A, avec l'œil gauche le même objet cinq degrés à droite de A, l'objet doit se trouver dans le plan médian et plus rapproché que A ; on verrait donc B simple et à sa place. Au lieu de cela, on rapporte, comme dans la vision unioculaire, les impressions à un centre unique et on se dit que l'objet doit être double puisqu'il est vu à la fois à droite et à gauche.

Œil directeur (1). — Chez moi, ce centre des coordonnées coïncide presque exactement avec l'œil droit, probablement parce que, l'ayant employé beaucoup séparément, j'ai acquis la faculté de juger exactement avec cet œil la position des objets extérieurs, ou autrement dit parce qu'il s'est développé une sorte de vision unioculaire à côté de la vision binoculaire. Je dois pourtant ajouter que cet état ne s'est pas développé

(1) D'après une communication de *Javal*, la vision binoculaire de *Vallée* était analogue à la mienne. Il a décrit cet état comme général (dans une communication à l'Académie des sciences, vers 1830) et donné le nom d'*œil directeur* à celui qui domine la projection en dehors. *H. Kaiser* a aussi décrit le même état pour ses yeux.

à la suite de mes travaux d'optique physiologique, car les phénomènes étaient les mêmes lorsqu'il y a douze ans je commençai à m'occuper de ces questions. Suivant *Hering*, le centre se trouve souvent à égale distance entre les deux yeux, et ce serait en effet là le vrai type de vision binoculaire, dans laquelle aucun des yeux ne joue un rôle prépondérant. — Voici pour quelles raisons je dis que, pour moi, le centre de projections coïncide avec l'œil droit :

1° Lorsqu'en regardant un objet éloigné je vois un objet rapproché en images doubles croisées et que j'essaie de toucher cet objet par un mouvement vif, je saisis juste si je vise l'image de l'œil droit, tandis que je porte la main loin de l'objet si je vise l'image de l'œil gauche. Il en est de même si je ferme un œil. Avec l'œil droit, j'apprécie juste la position des objets vus indirectement, comme le ferait un borgne ; avec l'œil gauche je la juge faussement. Ainsi, dans l'expérience de la figure 183, en fermant l'œil droit, je vois B 5° à droite de A, comme je dois le faire, mais je rapporte l'impression à mon œil droit et, croyant que l'objet B se trouve à 5° à droite de la ligne visuelle de l'œil droit, pour l'atteindre je porte la main vers B_1. — J'ai aussi remarqué, surtout lorsque j'observe accidentellement, sans les chercher, les images doubles d'objets rapprochés, que l'une d'elles, celle de l'œil droit, présente un aspect plus matériel, tandis que l'autre ressemble plutôt à une espèce d'ombre ; le Dr *Knapp* fils m'a fait la même remarque. Il est à remarquer que mes yeux sont sensiblement égaux, quant à l'acuité et à la réfraction.

2° Je fixe une marque P (fig. 184), pas trop voyante, placée sur un fond sombre et uniforme. En interposant une baguette entre mes yeux et le fond, sur la ligne visuelle de l'œil droit, je la vois en images doubles ; l'image de l'œil droit *(d)* coïncide avec la marque de fixation, tandis que l'image de l'œil gauche est vue plus à droite *(g)* (fig. 184 A). Si maintenant je fixe la baguette, c'est l'image *g* de l'œil gauche qui se porte vers celle de l'œil droit *d*, pour se confondre avec elle, tandis que celle-ci reste immobile. On pourrait croire que cela tient à ce que j'ai placé la baguette sur la ligne visuelle de l'œil droit, mais il n'en est rien ; si je place la baguette sur la ligne visuelle de l'œil gauche (fig. 184 B) de façon que l'image de l'œil droit *d* soit vue à gauche, c'est encore celle-ci qui reste immobile, tandis que celle de l'œil gauche fait un grand mouvement pour se joindre à elle lorsque je fixe la baguette. — Ce mouvement apparent existe aussi lorsque je ferme l'œil droit, quoique, dans ces circonstances, l'œil gauche ne fasse aucun mouvement. — Sous cette dernière forme, l'expérience a été indiquée par *Hering*.

3° Cet auteur a encore indiqué l'expérience suivante. On fixe binoculairement un objet placé à quelque distance dans le plan médian et on

essaie, par un mouvement vif, de placer une baguette assez près de la figure, dans la direction suivant laquelle on voit l'objet ; il est préférable de cacher le mouvement de la main avec un écran. En faisant cette expérience, je porte assez exactement la baguette sur la ligne visuelle de l'œil droit. L'expérience est facile à répéter, même avec des personnes qui n'ont pas l'habitude de s'occuper de telles questions, et on peut contrôler en se plaçant en face de l'observé et en visant avec un œil le long de la marque de fixation et la *glabelle* de l'observé. J'ai observé ainsi

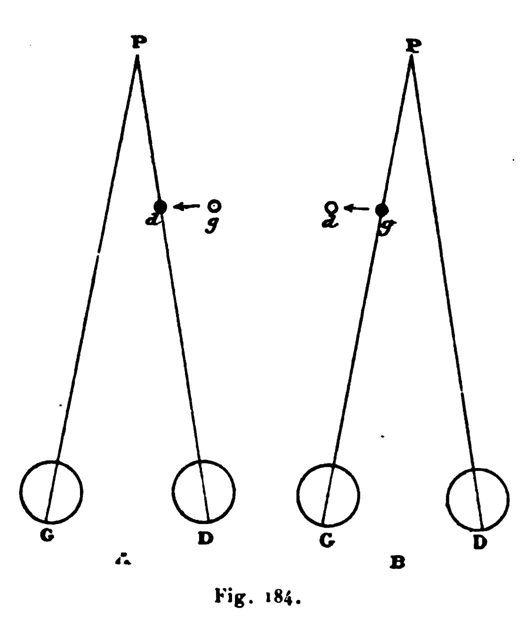


Fig. 184.

quelques personnes. La plupart présentaient une tendance marquée à préférer l'un ou l'autre œil, ce qui semble indiquer une tendance à un développement d'une vision unioculaire à côté de la vision binoculaire, pareille à ce que j'ai décrit pour mes yeux. Les personnes jouissant de la vision binoculaire pure doivent placer la baguette dans le plan médian ; comme le centre des projections ne coïncide avec aucun des yeux, ces personnes ne peuvent pas projeter correctement les objets vus indirectement. Ce type de la vision semble donc inférieur à l'autre quant à l'orientation.

Horoptère. — Tous les points en dehors du point fixé ne sont pas vus doubles ; le point C (fig. 183), par exemple, est vu 10° à droite de A, aussi bien avec l'œil droit qu'avec l'œil gauche ; il est donc vu simple. — L'ensemble de tous les points vus simples pendant qu'on fixe un point donné est désigné sous le nom d'*horoptère.* — L'étude de l'horoptère est un problème de mathématiques assez compliqué et sans grand intérêt, puisque la diplopie n'est que très peu accusée lorsque l'objet est un peu

éloigné du point de fixation. Il peut être résolu lorsqu'on connaît la position des points correspondants (voir le chapitre suivant) et la loi qui règle la position des yeux (loi de *Listing*). Lorsque le point de fixation se trouve dans le plan qui contient la position primaire des lignes visuelles, on voit simples tous les points qui se trouvent sur un cercle passant par le point de fixation et les points nodaux (*Horoptère* de *Joannès Müller*, fig. 185). On conçoit qu'en fixant A, B est vu simple, les

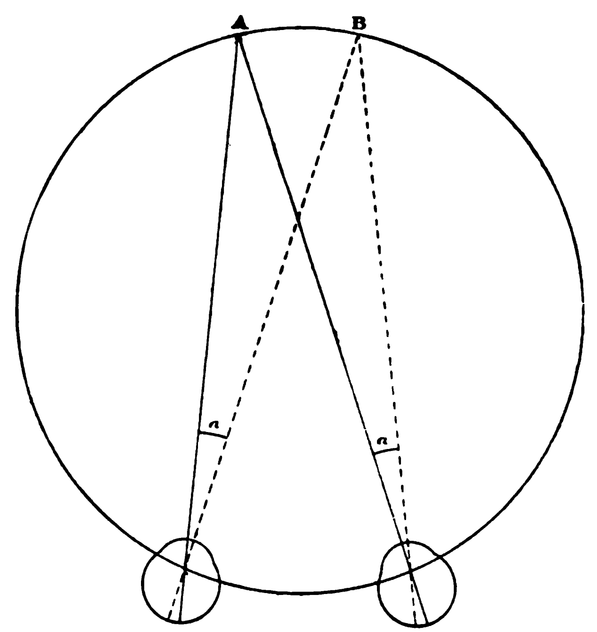


Fig. 185. — Horoptère de Joannès Müller.

deux angles désignés par *a* étant égaux, puisqu'ils correspondent tous les deux à l'arc AB. — Si l'on fixe un point du sol situé dans le plan médian, l'horoptère correspond à peu près au plan du sol.

Suppression des images doubles. — Comme on voit double une partie des objets extérieurs et une autre partie simple, on pourrait croire qu'il en résulterait une grande confusion. Il n'en est rien : la plupart des personnes n'ont jamais remarqué les images doubles physiologiques avant de faire l'expérience décrite ci-dessus. Dans des circonstances ordinaires, l'attention est toujours portée sur l'objet fixé, et le regard ne reste jamais longtemps sur le même objet, de sorte qu'on n'a pas beaucoup de temps pour s'apercevoir des images doubles. Il est aussi à remarquer que les objets non fixés forment leurs images sur les parties périphériques de la rétine, où la perception est moins nette qu'à la macula. Il n'est guère possible de se figurer une vision binoculaire utilisable si

toute la rétine avait une acuité pareille à celle de la *fovea*. Mais on fait aussi un usage important du phénomène connu sous le nom de neutralisation des images, et qui a surtout été mis en vue par les travaux de *Javal* sur la vision des strabiques (voir le chapitre XXIII).

Outre que, la plupart du temps, un objet semble se trouver à deux endroits différents, la vision binoculaire donne encore lieu à une autre contradiction. En faisant l'expérience avec les deux bougies devant un écran DE (fig. 183), nous avons vu que l'œil droit voit la bougie B à 5° à gauche de A ; dans cette direction, l'œil gauche voit une partie de l'écran ; et comme nous ne nous rendons pas compte de la position différente des deux yeux, mais rapportons nos impressions à un centre unique, il en résulte qu'il nous semble voir deux objets dans la même direction. En interposant une baguette entre les yeux et le livre (lecture contrôlée de *Javal*), on ne peut lire sans interruption que si les deux yeux sont ouverts ; si l'on ferme un œil, la baguette masque quelques-uns des caractères. Nous rencontrons ici la même contradiction ; nous voyons la baguette dans la même direction que les caractères qu'elle cacherait, et comme, d'un autre côté, on sait qu'elle est plus près que le livre, elle paraît transparente. Mais, dans les cas où une telle interprétation n'est pas possible, par exemple lorsqu'on présente aux deux yeux des images tout à fait différentes, dans un stéréoscope, on observe ce qu'on désigne sous le nom d'*antagonisme des champs visuels* ; ce sont tantôt les images d'un œil qui dominent, tantôt celles de l'autre, et, pendant qu'on voit dans une partie du champ visuel les images d'un œil, celles de l'autre sont complètement supprimées.

Il semble que cette suppression des images d'un œil joue un grand rôle dans la vision binoculaire et que c'est elle qui fait qu'en général on ne remarque pas les images doubles physiologiques. — Il n'est pas facile de savoir laquelle des deux images on supprime, car dès qu'on y porte attention, elles apparaissent toutes les deux. En général, c'est l'image la plus excentrique, ou, dans d'autres cas, l'image qui, à cause de la perspective, occupe la plus petite surface rétinienne (*Javal*), qui disparaît. Mais, chez beaucoup de personnes, il semble, comme je l'ai déjà dit, se développer une certaine prépondérance de l'œil qui est plus souvent employé séparément, et alors c'est toujours l'image de l'autre œil qui est supprimée.

Bibliographie. — Müller Joannès. *Beitraege zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes*. Leipzig, 1826. — Hering (E.). *Beitraege zur Physiologie*. Leipzig, 1861. — Kaiser (H.). *Compendium der physiologischen Optik*. Wiesbaden, 1872, p. 298.

CHAPITRE XXII

PERCEPTION MONOCULAIRE DE LA PROFONDEUR

127. Influence de l'accommodation. — J'ai déjà dit que l'œil ne nous donne aucune indication directe sur la distance d'où lui vient la lumière. On pourrait croire que le degré d'accommodation employé pour voir nettement l'objet pourrait nous renseigner sur sa distance. Lorsque l'œil est accommodé pour des objets éloignés, les objets rapprochés ne paraissent pas nets, et un observateur expérimenté pourrait se servir de cette circonstance pour juger de la distance d'un objet. *Young* dit aussi que les peintres doivent avoir soin de représenter vaguement les objets rapprochés, sous peine d'obtenir un effet dur et désagréable. Mais l'importance de l'accommodation pour l'appréciation de la distance n'est que très faible, parce que le plus souvent il s'agit de distances si grandes, que la différence d'accommodation est insignifiante. Pour toutes les distances dépassant 1 mètre, la variation de l'accommodation n'atteint pas une dioptrie.

128. Appréciation indirecte de la distance. — A défaut d'indications directes, toute une série de circonstances nous permettent de conclure à la distance d'un objet, le plus souvent par un *jugement inconscient.*

a. La connaissance de la nature des objets nous fournit souvent un moyen pour connaître leurs distances. Ainsi, si nous connaissons la grandeur d'un objet, nous pouvons conclure de sa grandeur angulaire à sa distance. C'est surtout la grandeur de l'homme qui nous sert pour cette estimation. En général, nous concluons directement à la distance. Lorsque nous voyons un homme très loin, il ne nous paraît pas petit parce que nous savons quelle grandeur il doit avoir, mais nous concluons qu'il doit se trouver très loin, puisque sa grandeur angulaire est petite, et cela sans que ce dernier fait arrive nettement à notre conscience. Cette observation est assez caractéristique de la manière dont

fonctionnent les jugements inconscients, et il est à remarquer que cette manière de juger est une chose apprise. Je me rappelle très bien que, la première fois que j'ai vu un homme grimpé sur le mât d'un navire, il m'a paru grand comme une poupée, et *v. Helmholtz* rapporte une observation analogue. — Si l'on regarde des objets éloignés à travers une lunette, ils sont agrandis; mais, tant qu'il s'agit d'objets de grandeur connue, comme des hommes, des maisons, etc., ils semblent avoir gardé leur grandeur naturelle, mais paraissent rapprochés. Il faut ouvrir l'autre œil pour se persuader qu'ils sont réellement agrandis.

b. Un moyen qu'on emploie souvent pour juger si un objet est plus rapproché qu'un autre est de remarquer s'il en cache une partie. Si une colline cache la partie inférieure d'une autre colline, il faut bien qu'elle soit plus rapprochée.

c. Si l'on connaît l'objet qu'on regarde, ou s'il a une certaine régularité, on arrive facilement à reconnaître quelle est la partie la plus rapprochée. Sur la photographie d'une maison nous jugeons facilement de la distance à laquelle doivent se trouver les différentes parties, tandis que des photographies de rochers, de paysages, etc., sont souvent plus difficiles à interpréter.

d. Les ombres portées sont souvent importantes pour l'appréciation de la distance. Si une surface est éclairée, la source lumineuse doit se trouver en avant, et si un objet jette ombre sur cette surface, il doit se trouver plus près de l'observateur que la surface. C'est pour cette raison qu'on obtient une bien meilleure idée de la réalité en ajoutant les ombres sur un dessin.

e. La *perspective aérienne* influe enfin quelquefois sur l'idée que nous nous formons de la distance. On comprend sous cette dénomination l'obscurcissement et le changement de couleur que subissent les objets éloignés par la transparence incomplète des couches d'air qui les séparent de l'observateur. Les vapeurs d'eau qui se trouvent dans l'atmosphère réfléchissent les rayons bleus et laissent passer les rayons rouges. En comparant les spectres d'un ciel bleu et d'un ciel nuageux, *Lord Rayleigh* a ainsi trouvé que l'intensité du dernier diminue fortement vers l'extrémité bleue. Si les spectres avaient la même intensité dans le rouge, le vert du ciel nuageux était déjà moins fort que celui du ciel bleu. C'est pour cette raison que le soleil couchant paraît rouge, les montagnes éloignées bleues. Lorsqu'il y a beaucoup de vapeur d'eau dans l'atmosphère, on voit des objets éloignés, comme des forêts ou des collines, plus éloignés et par conséquent plus grands qu'ils ne sont en réalité. Dans les montagnes, l'air est, comme règle, très pur, ce

qui fait qu'on juge souvent la distance et la hauteur des sommets beaucoup plus petites qu'elles ne sont en réalité.

On sait que le soleil et la lune paraissent plus grands lorsqu'ils sont près de l'horizon, et qu'il ne s'agit là que d'une illusion. Si l'on mesure leur grandeur angulaire, on la trouve exactement la même dans les deux cas. De même, si l'on essaie de diviser la distance du zénith à l'horizon en deux parties égales, on se trompe de beaucoup ; la partie inférieure est toujours trop petite. Puisque la lune, près de l'horizon, paraît plus grande que près du zénith, bien qu'elle ait la même grandeur angulaire, cela veut dire que nous la jugeons plus éloignée. L'illusion est due à

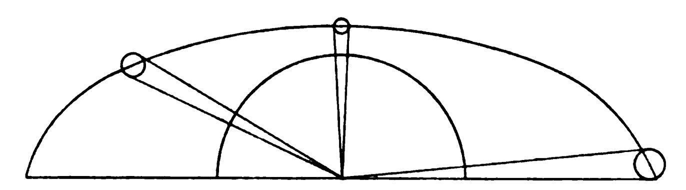


Fig. 186. D'après Young. — La courbe indique la forme apparente du ciel. Le soleil, quoique vu sous le même angle, paraît de grandeur variable.

la perspective aérienne. La lune est vue à travers une couche bien plus épaisse de l'atmosphère terrestre, lorsqu'elle se trouve près de l'horizon que lorsqu'elle est au zénith. Il semble pourtant que la comparaison avec des objets terrestres joue aussi un rôle pour ce jugement (fig. 186).

Ces différents moyens nous permettent un jugement plus ou moins exact de la distance d'un objet. Ils nous sont surtout utiles tant qu'il s'agit de grandes distances sur lesquelles la parallaxe dont je vais parler ne peut pas nous donner de renseignements.

129. Influence de la parallaxe. — L'idée qu'on obtient du relief par des déplacements de la tête est bien connue de tous ceux qui se servent de l'ophtalmoscope. On obtient ainsi une idée très nette de la profondeur d'une excavation, etc. — On emploie souvent ce moyen, sans le savoir, pour étudier un objet difficile à interpréter, et c'est le moyen principal des borgnes pour se rendre compte du relief. L'observateur voit ainsi souvent, sans qu'il s'en aperçoive, les mouvements relatifs des objets extérieurs, et il s'en sert pour se rendre compte de leur position. Si, par exemple, pendant que l'œil se déplace de *a* en *b* (fig. 187), l'observateur voit l'objet A se déplacer à droite relativement à l'objet B, il faut bien que A soit plus près que B ; pour tirer cette conclusion, on n'a même pas besoin de regarder pendant le déplacement. Si, après avoir observé les objets dans la position *a*, on ferme l'œil pour ne l'ouvrir

que dans la position *b*, on remarque néanmoins que A a changé de place relativement à B, ce qui suffit pour apprécier sa distance.

L'appréciation se base ici sur la comparaison des images rétiniennes successives ; les images changent pour chaque nouvelle position de l'œil. Mais, comme toute comparaison par mémoire est défectueuse, on obtient une idée bien plus nette de la différence entre les images, et par conséquent du relief, en comparant les images simultanées des deux yeux, et c'est pour cette raison que nous jugeons toujours mieux les distances avec deux yeux qu'avec un seul. Il est facile de se convaincre qu'il en est ainsi en essayant d'atteindre une baguette placée à quelque distance avec le doigt venant de côté. En regardant avec un seul œil, on se trompe bien plus souvent que lorsqu'on ouvre les deux yeux.

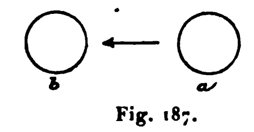


Fig. 187.

Lorsque nous regardons avec les deux yeux, chaque œil reçoit une image perspective des objets situés devant nous ; comme les deux yeux ne sont pas au même endroit, il en résulte entre les images des différences d'autant plus prononcées, que la distance de l'objet est plus petite. Si, au contraire, on regarde une image plane avec les deux yeux, les images rétiniennes sont identiques. C'est donc là un signe par lequel l'aspect d'un objet à trois dimensions se distingue d'une image plane. Ce n'est que pour les objets rapprochés que cette différence existe : si les objets se trouvent à grande distance, les images rétiniennes sont pareilles ; aussi, un paysage offre-t-il presque le même aspect, soit qu'on ferme un œil, soit qu'on les ouvre tous les deux.

Bibliographie. — *Œuvres de Young*, éd. Tscherning, p. 244.

CHAPITRE XXIII

PERCEPTION BINOCULAIRE DE LA PROFONDEUR

130. Influence de la convergence. — L'indication la plus importante sur la distance d'un objet nous est fournie par le degré de convergence qu'il faut employer pour le fixer binoculairement. Comme pour l'appréciation de la direction de la ligne visuelle dans la vision unioculaire (v. chap. xxi), c'est le degré d'innervation employée qui nous guide et nullement la sensation de la position des yeux, qui est toujours très vague. C'est uniquement pour des *différences* de convergence que nous avons une sensation très exacte ; nous pouvons juger avec une exactitude très grande si un objet est plus ou moins rapproché qu'un autre ; le jugement de la distance absolue est très incertain. — Lorsqu'on fixe un objet éloigné, un objet voisin apparaît en images doubles croisées. Quoique nous n'apercevions souvent pas ces images, elles nous donnent néanmoins une idée vague de la distance de l'objet, car elles suffisent à donner à la convergence une impulsion assez juste puisque, guidé par elles, on converge pour l'objet sans grand tâtonnement. Mais, ce n'est qu'après avoir exécuté la convergence et vu que l'innervation donnée atteint le but, qu'on a une idée précise de la distance. La différence entre les deux jugements est à peu près analogue à ce qui arrive lorsqu'on veut mesurer la distance entre deux points. Supposons qu'on veuille mesurer cette distance avec un compas, muni d'une échelle graduée en millimètres indiquant la distance entre les deux pointes. On peut bien, à première vue, donner au compas l'ouverture approximative qu'il faut, mais on obtient une idée autrement exacte et nette de la distance lorsqu'on exécute la mensuration et que l'on voit combien il faut ajouter ou retrancher de la distance jugée.

131. Le stéréoscope. — L'avantage de la vision binoculaire n'a été bien mis en vue que par l'invention du stéréoscope par *Wheatstone* (1833).

On sait qu'avec cet instrument on obtient une impression de la profondeur bien supérieure à celle que n'importe quelle autre représentation peut donner.

Chacune des images d'une représentation stéréoscopique est dessinée de manière à former dans l'œil une image rétinienne pareille à celle que l'objet y formerait. Les objets lointains sont donc représentés par des images identiques, tandis que les images d'objets rapprochés sont différentes.

Parallaxe stéréoscopique. — Pour se rendre compte de la manière dont les objets sont représentés sur les images stéréoscopiques, on peut se figurer deux plaques transparentes (MM, fig. 188), placées devant les

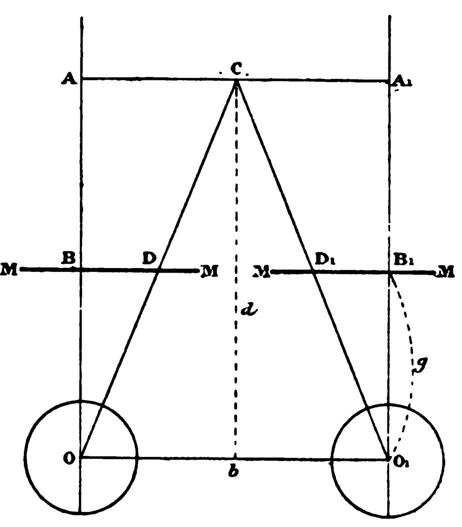


Fig. 188.

yeux, à l'endroit qu'occupera plus tard l'image stéréoscopique. De tous les points extérieurs on se figure des lignes droites dirigées vers les yeux. Il part ainsi de chaque point extérieur deux de ces lignes, et le point où chacune de ces droites coupe la plaque correspondante est la reproduction du point extérieur. Si celui-ci est à l'infini, les deux lignes droites sont parallèles et la distance BB_1, entre les deux points, est égale à la ligne basale. Si l'on place les deux figures stéréoscopiques transparentes l'une sur l'autre, de manière à ce que les deux reproductions d'un même point situé à l'infini se couvrent, on peut faire coïncider deux à deux les reproductions de tous les points situés à l'infini. — Si au contraire le point extérieur (C, fig. 188) n'est pas à l'infini, la distance entre les deux reproductions est plus petite que celle des yeux. On désigne la différence sous le nom de *parallaxe stéréoscopique*. La paral-

laxe du point C est $BD + B_1D_1 = E$. En désignant la distance entre les deux yeux par *b*, celle de l'objet aux yeux par $AO = d$, et la distance de la plaque aux yeux par *g*, on a :

$$\frac{b - E}{d - g} = \frac{b}{d} = \frac{E}{g} \quad \text{ou} \quad E = \frac{bg}{d}.$$

La parallaxe augmente donc avec la distance entre les deux yeux, et elle est d'autant plus grande que l'objet est plus près de l'observateur.

Méthodes pour observer les images stéréoscopiques. — *a.* En mettant les lignes visuelles en parallélisme, on peut sans autre préparation confondre les deux images en une seule, qui apparaît en relief. On voit alors trois images, dont celle du milieu donne le relief ; car chaque œil voit, non seulement l'image qui lui est destinée et qui est confondue avec celle de l'autre œil, mais aussi l'image qui est destinée à l'autre œil ; on peut éliminer les deux images inutiles en plaçant la main comme une cloison entre les yeux. Il peut être difficile de mettre les lignes visuelles en parallélisme, tout en accommodant pour une distance assez petite, mais si l'on y arrive, l'illusion est aussi parfaite qu'avec un stéréoscope. Souvent, on ne réussit pas avec les images stéréoscopiques ordinaires parce que, destinées au stéréoscope de *Brewster*, elles sont calculées pour une ligne basale trop grande, ce qui oblige à faire diverger les lignes visuelles pour les fusionner.

On peut aussi regarder les images en dirigeant l'œil droit vers l'image de gauche et inversement, de sorte que les lignes visuelles s'entre-croisent en un point situé en avant de l'image. Il faut alors placer à gauche l'image destinée à l'œil droit, sous peine de voir le relief renversé, si l'objet figuré se prête à une telle interprétation. — L'image confondue paraît diminuée et située en avant du plan du dessin, à l'endroit d'entre-croisement des lignes visuelles.

b. Le stéréoscope de *Wheatstone*, le premier qui ait été construit, se compose de deux miroirs plans (BD et B_1D_1), formant un angle droit (fig. 189) ; l'œil O_1 regarde dans le miroir à droite l'image du dessin B_1 D_1 qu'il voit en ff_1 ; l'œil O voit l'image de BD, au même endroit ; les deux images se confondent en une seule présentant le relief. — Pour ne pas avoir de relief renversé ou *pseudoscopique*, il faut présenter à l'œil gauche l'image destinée à l'œil droit, puisque les miroirs ren- versent les images.

c. Le stéréoscope le plus employé est celui de *Brewster* : chaque œil regarde à travers un prisme à surfaces convexes, dont l'arête est interne. Les verres produisent un certain grossissement, et leur effet prisma-

tique fait qu'on n'a pas besoin de mettre les lignes visuelles en parallélisme.

On peut remplacer les verres du stéréoscope de *Brewster* par des

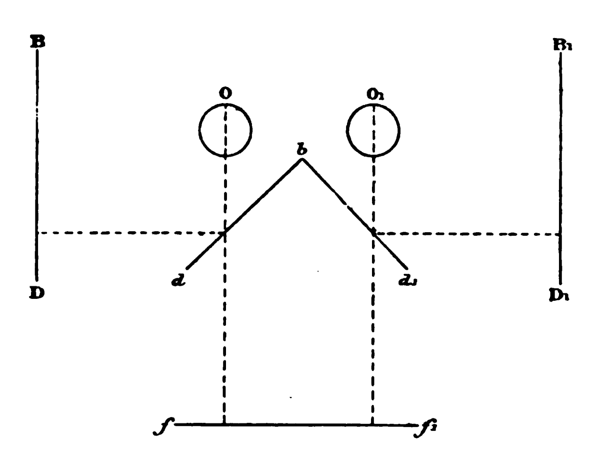


Fig. 189. — Stéréoscope de Wheatstone.

lentilles convexes ordinaires en les décentrant, c'est-à-dire en les plaçant de façon que la distance entre les centres des deux verres soit plus grande que la distance entre les yeux.

d. Lorsque l'image représente un objet symétrique par rapport au plan médian, les deux dessins sont symétriques. On peut donc, dans ce cas, obtenir un effet stéréoscopique en regardant avec un œil un dessin ordinaire, avec l'autre son image par réflexion, puisque la réflexion en produit une image symétrique. La manière la plus commode consiste à regarder à travers un prisme à réflexion totale.

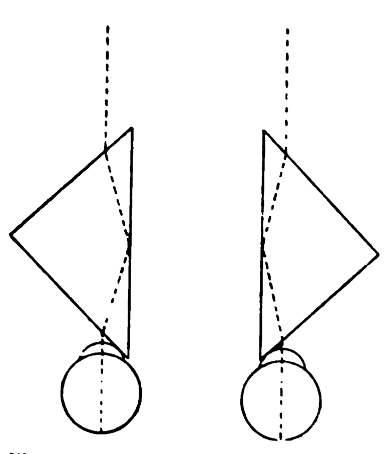


Fig. 190. — Pseudoscope de Wheatstone.

e. En plaçant un prisme à réflexion totale devant chaque œil, on obtient le relief pseudoscopique lorsqu'on regarde un objet quelconque, pourvu qu'une telle interprétation soit possible. Un cigare se présente ainsi comme une feuille de tabac creuse, etc. *Wheatstone* a construit un instrument de ce genre sous le nom de *pseudoscope* (fig. 190).

f. Le *téléstéréoscope* de *v. Helmholtz* se compose de quatre miroirs disposés comme on le voit sur la figure 191. Des rayons *ab*, a_1, b_1 provenant d'un paysage sont réfléchis par les grands miroirs vers les petits et par ceux-ci vers les yeux. On obtient le même effet que

si les yeux A et B se trouvaient à la place de leurs images (A_1 B_1) produites par la double réflexion. Nous avons vu que le relief binoculaire est dû à la distance qui sépare les deux yeux. Plus cette distance est grande, plus le relief est prononcé. L'instrument donne du relief à des

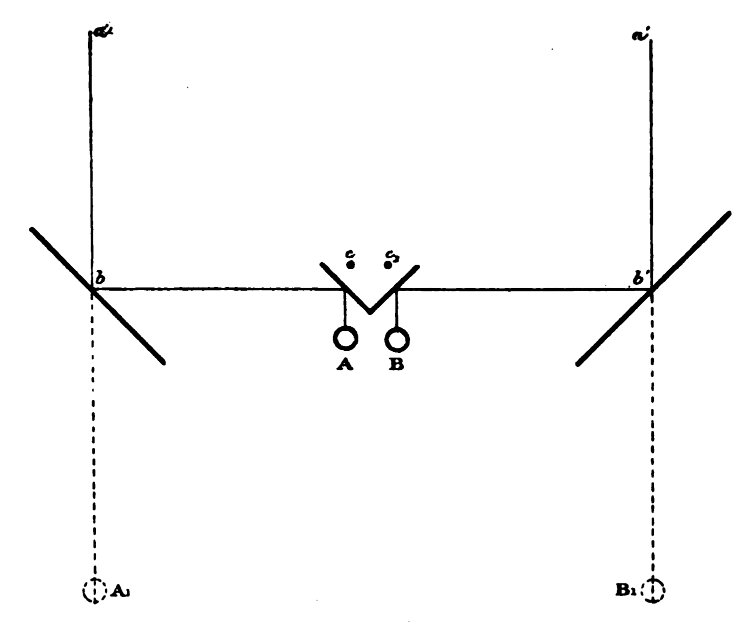


Fig. 191. — Téléstéréoscope de v. Helmholtz.

objets qui, dans les circonstances ordinaires, sont trop éloignés pour donner cette perception ; en même temps, il les fait voir plus rapprochés et plus petits, à peu près comme si l'on en regardait un modèle diminué.

g. L'iconoscope de *Javal* ressemble à un petit téléstéréoscope renversé, les yeux ayant pris la place de l'objet (a et a_1) et l'objet celle des yeux (dans la direction de AB).

L'instrument agit comme si les yeux se trouvaient très près l'un de l'autre, en c et c_1. En regardant les objets à travers cet instrument, le relief disparaît : les objets paraissent plats comme une peinture. Au contraire, si l'on observe une gravure à travers l'instrument, elle présente un relief plus prononcé que dans les circonstances ordinaires. Car la vision binoculaire cesse alors de nous faire remarquer que les différentes parties de l'image se trouvent dans un même plan, ce qui nuit à l'illusion. En regardant à travers l'iconoscope, le relief est plus marqué qu'en fermant simplement un œil.

h. L'ophtalmoscope binoculaire de *Giraud-Teulon* est analogue à l'iconoscope. Les miroirs sont remplacés par deux rhomboèdres en verre,

dont chacun couvre la moitié du trou de l'ophtalmoscope. Comme dans le cas précédent, les rayons arrivent à l'œil après une double réflexion sur les petites surfaces du rhomboèdre. L'appareil fonctionne comme si les yeux se trouvaient en cc_1 (fig. 192).

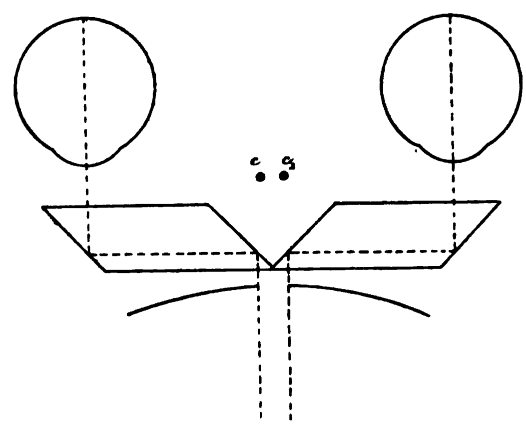


Fig. 192. — Ophtalmoscope binoculaire de Giraud-Teulon.

i. On dessine les deux figures l'une sur l'autre, l'une avec des traits rouges, l'autre avec des traits bleus. En regardant à travers un verre rouge, on ne voit pas les traits rouges, et inversement. — Si l'on regarde ces *anaglyphes* en mettant un verre rouge devant un œil, un verre bleu devant l'autre, on obtient un effet stéréoscopique ; en changeant les verres de côté, le relief est renversé, si la nature de l'objet permet une telle interprétation (*d'Alméida*).

132. L'effet du stéréoscope est de donner une idée de la troisième dimension, telle qu'aucune autre représentation ne peut la donner. Son emploi s'est surtout répandu depuis qu'on fait des photographies stéréoscopiques, car si l'on peut exécuter des *dessins* stéréoscopiques de figures stéréométriques, etc., il est impossible d'en exécuter d'après un paysage, tant la reproduction doit être exacte. *Dove* a employé le stéréoscope pour voir si un billet de banque est faux, en le plaçant dans l'un des champs et en mettant dans l'autre un billet vrai. S'il était faux, on voyait quelques-unes des lettres sortir du plan du papier, car il est impossible d'exécuter en gravure une contrefaçon tout à fait exacte, et la moindre différence dans la distance des lettres produit du relief.

Lustre stéréoscopique. — Dans les circonstances ordinaires, il ne se forme habituellement dans un œil que des images des mêmes objets que dans l'autre ; tant qu'on ne place dans le stéréoscope que des images

d'objets réels, on voit simplement le relief. J'ai déjà dit que, dans le cas de la lecture contrôlée de *Javal*, on voit au même endroit la baguette et les lettres qu'elle devrait cacher. L'observateur se tire d'embarras en se figurant la baguette transparente. Une autre interprétation du même genre est connue sous le nom de *lustre stéréoscopique (Dove)*. Si l'on dessine l'une des figures stéréoscopiques avec des traits noirs sur fond blanc, l'autre avec des traits blancs sur fond noir, on remarque que l'image fusionnée présente un certain brillant, à peu près comme si elle était couverte d'une couche de plombagine. En remplaçant les surfaces noires par des surfaces colorées, on obtient quelquefois du lustre métallique. — Tout corps brillant renvoie en effet deux sortes de lumière : de la lumière blanche réfléchie régulièrement et de la lumière diffuse qui possède la couleur propre du corps. Lorsque, dans le stéréoscope, on voit au même endroit de la lumière blanche et de la lumière colorée, on s'explique la contradiction en supposant que l'objet qu'on regarde est brillant.

Antagonisme des champs visuels. — Lorsque les images placées dans les deux champs sont trop différentes pour être fusionnées, ainsi par exemple si l'on présente à un œil des lignes horizontales, à l'autre des lignes verticales, on observe le phénomène connu sous le nom d'*antagonisme des champs visuels* : c'est tantôt l'un, tantôt l'autre champ qui domine, et, pendant que l'un domine, l'autre est supprimé, on ne le voit pas du tout. Ce n'est pas le champ du même œil qui domine partout; le champ commun est composé de parties appartenant à l'un et à l'autre œil. Lorsque l'un des champs a prédominé à un endroit pendant quelque temps, l'aspect change, l'autre champ prenant le dessus. Le changement a souvent lieu sous une influence extérieure ; un battement des paupières ou un changement dans la direction du regard suffisent quelquefois pour le provoquer. Les phénomènes varient du reste beaucoup suivant les objets.

Si l'on présente à chaque œil des contours qui ne se correspondent pas dessinés sur un fond uniforme, mais différent pour les deux yeux, on remarque que le fond de chaque champ domine près du contour qui lui appartient. L'expérience suivante démontre ce fait d'une manière assez frappante. On dessine dans l'un des champs une large barre noire verticale, dans l'autre une autre barre pareille mais horizontale : en confondant les champs, les barres forment une croix (fig. 193) dont le milieu, situé au point où les deux barres se couvrent, est noir ; les parties voisines du milieu sont blanchâtres, parce que le contour fait dominer le fond blanc. Les extrémités des bras paraissent au contraire presque

aussi noires que le milieu, malgré la superposition du blanc de l'autre champ.

En faisant cette expérience, on éprouve une difficulté pour fixer les images l'une sur l'autre : le bras vertical glisse sur le bras horizontal. Cela tient à ce qu'il n'y a pas de lignes verticales communes qui puissent nous guider pour le degré de convergence. A cause de leur importance pour la convergence, on a désigné les lignes verticales sous le nom de *contours dominants*. Pour empêcher que les deux figures ne glissent l'une sur l'autre, on a placé au milieu de chaque trait une petite croix blanche. La tendance à fusionner ces petites croix suffit pour fixer la barre verticale au milieu de la barre horizontale.

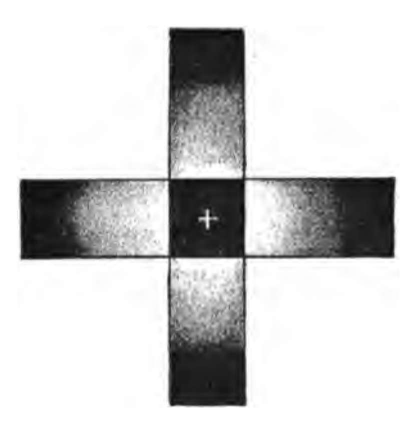


Fig. 193. — D'après *v. Helmholtz*.

Lorsque les deux champs n'ont pas la même couleur, on observe le plus souvent l'antagonisme des champs visuels. J'ai ainsi disposé l'expérience des ombres colorées (p. 220), de manière à avoir l'une des ombres dans chaque champ du stéréoscope. En les confondant, c'était tantôt l'une, tantôt l'autre couleur qui dominait. J'ai répété l'expérience avec plusieurs de mes élèves, aucun ne réussissait à voir l'ombre grise. — Il y a pourtant des auteurs qui prétendent avoir obtenu la couleur du mélange ; le phénomène est peut-être alors du même ordre que le lustre stéréoscopique.

133. Points identiques des rétines. — On dit qu'un point d'une rétine est *correspondant* ou *identique* à un point de l'autre, lorsque les images d'un même point extérieur tombant sur ces deux points rétiniens sont confondues en une seule image. Si, dans le second œil, l'image se forme sur n'importe quel autre point, elle n'est pas confondue avec celle du premier œil ; le point est vu double.

Il est évident que les deux *foveas* sont des points correspondants, puisque l'objet fixé est toujours vu simple. Pour trouver les autres points identiques, *Joannès Müller* a donné la règle suivante. On se figure les rétines divisées en quatre quadrants par un méridien horizontal et un méridien vertical passant tous les deux par la fovea. La position de chaque point est déterminée ensuite, comme sur un globe terrestre, par sa longitude et sa latitude par rapport à ces deux méridiens. Deux points ayant la même longitude et la même latitude sont iden-

tiques. La règle de *Müller* est conforme à celle que nous avons posée dans le chapitre XXI, d'après laquelle un objet est vu simple lorsque les deux yeux le voient dans la même direction par rapport au point fixé.

Des recherches de *Volkmann* ont montré que la loi de Müller n'est pas tout à fait exacte et qu'il faut remplacer les méridiens verticaux par les méridiens *apparemment verticaux* qui, pour une personne placée debout et regardant vers l'horizon, convergent d'environ 2° vers le bas, de manière à se rencontrer à peu près à la hauteur du sol (v. p. 274). On se figure alors la rétine divisée par des cercles parallèles à ce méridien ainsi qu'au méridien horizontal, et la loi de Müller est applicable. — En plaçant dans chaque champ une ligne réellement verticale, ces lignes paraissent converger vers le haut et doivent par conséquent se croiser si on essaie de les confondre. Pour réussir l'expérience, il faut pourtant la disposer de façon qu'une ligne soit blanche sur fond noir, l'autre noire sur fond blanc ; autrement les lignes se confondent quand même.

Théories sur la nature de l'identité. — On a beaucoup discuté la question de savoir pourquoi deux points sont correspondants, tandis que deux autres ne le sont pas. Parmi les partisans de la *théorie d'identité*, la plupart admettent qu'il existe une relation anatomique entre les deux points correspondants. Ils supposent que les nerfs conducteurs des impressions de deux points correspondants se réunissent, à leur passage au chiasma, en un seul qui conduit l'impression au cerveau. Cette idée se trouve déjà exprimée chez *Galien* et a été confirmée par *Newton*, *Wollaston*, et d'autres. La *théorie* dite *des projections* s'exprime à peu près comme nous l'avons dit dans le chapitre XXI : un point de la rétine gauche situé à 10° à gauche de la *fovea* localise son impression à 10° à droite du point de fixation ; le point situé à 10° à gauche de la *fovea* droite localise son impression dans la même direction ; et comme les deux impressions sont localisées dans la même direction, elles se confondent en une seule. L'identité des deux *foveas* serait elle-même un résultat acquis par l'expérience. Cette théorie a été soutenue par *Kepler*, *Porterfield*, et, sous une forme erronée, par *Giraud-Teulon*.

Immédiatement après l'invention du stéréoscope et les études sur la production du relief auxquelles cette invention donna lieu, on fut porté à abandonner l'idée des points correspondants, car les expériences stéréoscopiques semblent en opposition avec ce que nous avons dit de ces points. En effet, regardons dans le stéréoscope une représentation de deux points A et B, situés tous les deux dans le plan médian, et fixons le plus éloigné, A. Les images de B ne se forment pas sur deux

points correspondants puisque dans un œil son image est à droite, dans l'autre à gauche de la *fovea*. Néanmoins, nous le voyons simple et en relief, c'est-à-dire plus rapproché que A. — A cause de cette contradiction apparente, *Wheatstone* inclina vers la théorie des projections. En désespoir de cause, les partisans de la théorie d'identité imaginèrent qu'un point de l'une des rétines correspond non à un point, mais à une petite surface de l'autre (*Panum*). Une image tombant sur le point de la première rétine pourrait alors se confondre, soit sans relief, avec une image se formant au milieu de la petite surface de l'autre, soit, avec relief, avec une image se formant sur un point plus périphérique de la petite surface. Mais, sous cette forme, la théorie d'identité n'était pas soutenable; il faudrait, en effet, admettre que les deux mêmes points pouvaient être tantôt correspondants, tantôt non correspondants, ce qui n'est guère admissible. La question n'a été tirée au clair que par les travaux de *Javal*.

Théorie de Javal sur la production du relief. — Cette théorie invoque surtout deux facteurs, la *neutralisation* (suppression partielle de l'une des images) et l'*influence* des *mouvements oculaires* sur laquelle *Brücke* avait déjà insisté. Dans le chapitre XXI j'ai déjà mentionné la suppression de l'une des images, qui a lieu lorsqu'il se forme des images différentes sur deux parties correspondantes des rétines. On voit alors tantôt l'image d'un œil, tantôt celle de l'autre, et, pendant qu'on voit l'image d'un œil, la partie correspondante de l'image de l'autre disparaît absolument. Chez les personnes normales la suppression se manifeste surtout alternativement pour les deux yeux, sous la forme de l'*antagonisme des champs visuels*; chez les strabiques, au contraire, on a souvent l'occasion d'observer la neutralisation constante d'une grande partie du champ visuel d'un œil.

Bruecke a le premier insisté sur la grande importance des mouvements oculaires pour la perception du relief. Il est du reste certain que sans eux on ne pourrait en avoir qu'une notion très vague. En regardant dans un stéréoscope, surtout si les images sont difficiles à fusionner, ce n'est qu'après que j'ai laissé errer mon regard pendant un certain temps sur les figures, en fusionnant tantôt les images des objets éloignés, tantôt celles des objets rapprochés, que le relief m'apparaît. Tant que la sensation de relief ne s'est pas produite, je vois doubles, tantôt les objets voisins, tantôt les objets éloignés; mais, au moment où le relief apparaît, je les vois tous simples. Certains auteurs prétendent avoir observé le relief en éclairant les images stéréoscopiques avec une étincelle électrique, lumière dont la durée est assez courte pour que tout mouvement oculaire

soit nécessairement exclu. Cela me serait certainement impossible, car il se passe toujours un certain temps avant l'illusion véritable, ce qui n'empêche pas qu'on puisse avoir tout d'abord une vague notion du relief.

Suivant *Javal*, il faut en effet distinguer entre la *notion du relief*, qui est produite par le fait que nous voyons les objets rapprochés en images doubles croisées, et la *mensuration du relief*, qui dépend de la *sensation* du degré d'innervation qu'il faut pour converger vers l'objet rapproché. Pour se rendre compte de la manière dont nous arrivons à obtenir la sensation du relief, il est préférable de se servir d'images qui sont assez difficiles à confondre, la parallaxe stéréoscopique des objets représentés étant assez forte. Tout d'abord, on fusionne les images d'objets éloignés, et toutes les autres apparaissent en images doubles. On laisse ensuite le regard errer sur la figure, ce qui force à converger plus ou moins, suivant que l'objet est représenté plus ou moins voisin. Après avoir continué ainsi pendant quelque temps, le relief se manifeste, à peu près comme on peut, les yeux fermés, obtenir une idée très nette de la forme d'un objet en le tâtonnant avec les doigts. En même temps qu'apparaît le relief, les images doubles disparaissent ; on supprime les images de l'un ou de l'autre œil. Si l'un des yeux joue le rôle d'*œil directeur* (v. p. 288), ce sont habituellement les images de l'autre œil qui sont supprimées, à moins que l'image de l'œil prépondérant ne soit beaucoup plus périphérique que celle de l'autre. Dans les cas où cette prépondérance ne s'est pas développée, les images doubles semblent disparaître suivant la loi de *Javal :* on supprime celle des images qui occupe la plus petite surface rétinienne. On peut se rendre compte de la manière dont on supprime les images, en regardant une règle qu'on tient obliquement devant les yeux, de façon qu'elle présente une surface plus grande à un œil qu'à l'autre. Qu'elle occupe la position AA (fig. 194), ou la position BB, vue binoculairement elle me semble avoir le même aspect que lorsque je ferme l'œil gauche. Les personnes chez lesquelles la prépondérance d'un œil ne s'est pas développée voient la règle binoculairement, comme elle se présente à l'œil gauche, si elle occupe la position AA. Dans la position BB, elles la voient au contraire comme elle se présente à l'œil droit.

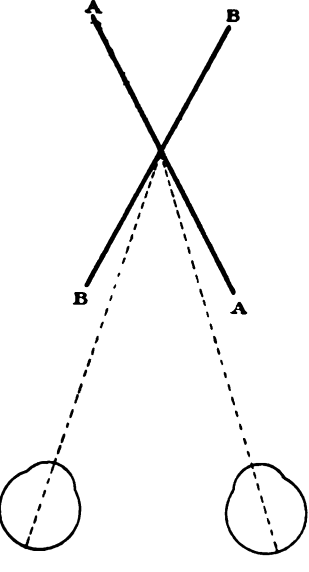


Fig. 194.

La discussion des deux théories de la vision binoculaire, celle de l'*identité* et celle des *projections*, n'est pas encore close. L'explication de *Javal* s'applique, au fond, aussi bien à l'une qu'à l'autre. On *peut* se figurer la projection apprise par l'expérience ; et même le fait de projeter toujours les impressions des deux *foveas* au même endroit, pierre fondamentale de la vision binoculaire, peut être une chose apprise. C'est, peut-être, la supériorité de la fovea, quant à l'acuité visuelle, qui nous fait amener toujours les images de l'objet qui nous intéresse à se former sur les deux foveas, et nous pouvons ainsi avoir été conduits à localiser toujours l'impression des deux foveas au même endroit. D'autre part, les partisans de la théorie de l'identité s'appuient sur les observations anatomiques de la semi-décussation dans le chiasma, et surtout sur l'anatomie comparée qui montre que, chez beaucoup d'animaux — les poissons par exemple, — dont les yeux sont placés de façon à ne pas avoir un champ visuel commun, les nerfs optiques se croisent complètement. Les observations cliniques d'hémianopsie, surtout celles d'hémianopsie partielle, sont un argument de plus en faveur de cette théorie. L'étude de la vision des strabiques, qui est peut-être le moyen le plus propre à trancher la question, montre enfin, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, qu'à la suite d'une position fausse des yeux, il peut se développer une espèce de correspondance entre deux points rétiniens qui, dans les circonstances ordinaires, ne sont pas correspondants ; mais cette relation ne prend jamais le caractère d'une vraie vision binoculaire avec fusion, et il suffit quelquefois, chez une personne qui a louché depuis son enfance, de placer les yeux dans une position approximativement correcte, pour que, dans le courant d'une quinzaine de jours, la projection correcte prenne le dessus.

Bibliographie. — Wheastone (C.). *Contributions to the physiology of vision. On some remarkable and hitherto inobserved Phenomena of binocular vision. Phil. trans.*, 1838, II, p. 371-394. — Wheatstone (C.). *Contributions to the physiology of vision*, II. *Phil. Mag.*, 4, III, p. 149-152, et p. 504-523. — Brewster (D.). *The stereoscope*. London, 1858. — Helmholtz (H.). *Das Telestereoskop. Pogg. Ann.*, CI, p. 494-CII, p. 167. — Javal (E.). *Sur un instrument nommé Iconoscope, destiné à donner du relief aux images planes examinées avec les deux yeux*. Compte rendu, LXIII, 927. — Javal (E.). *De la neutralisation dans l'acte de la vision. Ann. d'oc.*, LIV, p. 5. — Müller (Johannes). *Beitraege zur vergleichende Physiologie des Gesitchtssinnes*. Leipzig, 1826, p. 191. — Volkmann (A.-W.). *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*, II. Leipzig, 1864. — Newton (J.). *Opticks*, 1717, p. 320. — Panum (P.-L.). *Physiologische Untersuchung ueber das Sehen mit zwei Augen*. Kiel, 1858. — Bruecke, *Ueber die stereoscopische Erscheinungen*. Müllers Archiv für Anat. u. Physiol., 1841, p. 459. — Nagel (A.). *Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen*. Leipzig, 1861. — Javal (E.). *Manuel du strabisme*. Paris, Masson, 1896.

CHAPITRE XXIV

LE STRABISME

134. Différentes formes de strabisme. — On dit qu'il y a strabisme lorsque les deux lignes visuelles ne s'entre-croisent pas au point fixé. L'image du point fixé ne se forme donc pas sur les deux *foveas*, et puisque les deux *foveas* sont toujours des points correspondants, il n'y a pas de vision binoculaire. On pourrait donc définir le strabisme l'état où la vision binoculaire fait défaut, au moins à certains moments ou pour certaines directions du regard. Il est pourtant à remarquer qu'on peut rencontrer des cas où les lignes visuelles ont la direction exacte, au moins en apparence, mais où la vision binoculaire fait néanmoins défaut; ce cas se présente souvent chez des strabiques qui ont subi une opération réussie. On a aussi l'habitude de parler de strabisme quand un œil dévie, même s'il est complètement aveugle. L'étude des strabiques est très importante pour différentes questions de l'optique physiologique.

On distingue deux formes de strabisme : le *strabisme paralytique*, dû à une paralysie d'un ou de plusieurs muscles, et le *strabisme concomitant*, qui, dans la grande majorité des cas, est dû à un défaut d'innervation (*Hansen-Grut*). Les signes par lesquels on fait le diagnostic différentiel entre ces deux formes de strabisme sont bien connus. Ils ont passé du mémoire classique de *v. Graefe* dans tous les traités d'ophtalmologie. Dans les cas de strabisme paralytique, l'excursion de l'œil est diminuée du côté du muscle paralysé ; l'angle de strabisme primaire varie suivant que l'œil est dirigé plus ou moins du côté du muscle malade, et l'angle de strabisme secondaire est plus grand que l'angle primaire. Les malades présentent de la diplopie, soit spontanément, soit surtout si on les examine avec une bougie et un verre coloré. La distance entre les deux images augmente lorsque le regard est dirigé

du côté du muscle malade, et c'est l'image de l'œil malade qui s'éloigne le plus dans cette direction.

Lorsque le malade ferme l'œil sain et regarde vers un objet situé du côté du muscle malade, la projection est faussée ; comme, à cause de la parésie, il a dû employer une innervation plus forte pour amener l'œil à fixer l'objet, il croit que cet objet est situé plus latéralement qu'il ne l'est en réalité, et lorsqu'il veut saisir vivement l'objet, il porte la main à côté. J'ai déjà (p. 285) fait remarquer l'importance de cette observation pour démontrer que nous jugeons avant tout la direction du regard d'après le degré d'innervation employée pour le porter dans cette direction.

Strabisme concomitant. — Lorsqu'on parle de strabisme sans autre indication, c'est, en général, cette forme que l'on vise. — Dans ce strabisme, l'angle de déviation est à peu près le même pour toutes les directions du regard, sauf qu'en général la convergence est plus prononcée pour le regard en bas que pour le regard en haut. L'angle secondaire est égal à l'angle primaire. Le malade ne se plaint pas de diplopie, mais on peut toujours la provoquer par les moyens que j'indiquerai tout à l'heure. La distance entre les deux images est la même partout, de quelque côté que le malade regarde. Le moyen le plus simple pour faire le diagnostic du strabisme est de faire fixer un objet, le doigt de l'observateur par exemple. Si l'un des yeux semble dévier, on couvre l'autre, et, si le premier fait alors un mouvement pour fixer, c'est qu'il était dévié : le strabisme est donc constaté. Il faut répéter cet examen pour un objet lointain. Si l'on ne découvre pas de strabisme par ce moyen, il peut néanmoins se faire qu'il y en ait, mais d'un degré très faible, ou, autrement dit, qu'il n'y ait pas de vision binoculaire; on peut, dans ce cas, placer un prisme, l'arête en dedans, devant un œil. S'il y a vision binoculaire, l'œil exécute un mouvement de convergence pour neutraliser l'effet du prisme (*v. Graefe*). — Si le strabisme est périodique, on peut quelquefois le découvrir en faisant fixer un objet très petit, un mot imprimé avec des caractères très fins par exemple ; le malade est obligé d'accommoder pour distinguer le mot, et l'effort d'accommodation peut alors provoquer le strabisme.

Strabisme latent. — Pour voir s'il y a du strabisme latent, on fait fixer le doigt de l'observateur, on couvre un œil et on examine, en le découvrant, si l'œil a dévié sous la main et s'il se redresse pour fixer. S'il ne se redresse pas, le strabisme est devenu manifeste; s'il se redresse, il est latent. — Suivant *v. Graefe*, on fait observer une longue ligne verticale qui porte au milieu une tache noire, ou, ce qui vaut mieux, une bougie, pendant qu'on place devant un œil un prisme, l'arête

en haut. S'il n'y a pas de strabisme latent, le malade voit deux objets placés juste l'un au-dessus de l'autre (si l'arête du prisme est bien horizontale). Sinon, il y a du strabisme latent, et on peut alors en mesurer le degré en plaçant le prisme de *Crétès* devant l'autre œil et en cherchant le degré de ce prisme qui fait paraître une image au-dessus de l'autre. On peut aussi employer le *test* de *Maddox*, etc. *Javal* place un verre dépoli devant l'un des yeux du malade ; ce verre empêche l'œil qu'il couvre de rien distinguer, tandis que l'observateur voit l'œil suffisamment bien pour juger de sa position.

En examinant de cette manière, on trouve, chez beaucoup de personnes, un léger degré de strabisme divergent latent pour la vision de près. On désigne souvent cet état sous le nom d'*insuffisance des droits internes*. Cette expression est mauvaise et devrait disparaître. Les droits internes ne sont pas plus faibles que dans les yeux normaux, comme *Hansen-Grut* l'a montré, car autrement cette faiblesse devrait se manifester aussi pour les mouvements associés. Si le droit interne droit était réellement plus faible qu'à l'état normal, on devrait, lors du regard à gauche, voir apparaître les phénomènes qui caractérisent une parésie du droit interne droit, ce qui n'est nullement le cas. Ce n'est pas dans les muscles, c'est dans l'innervation de convergence qu'il faut chercher la cause de cette déviation. On pourrait donc parler d'une insuffisance de la convergence, mais ce serait aussi une mauvaise expression, car beaucoup de sujets atteints de cette affection peuvent converger autant que les personnes normales ; ce n'est que le *stimulus* de la convergence qui fait défaut.

135. Mensuration du strabisme. — 1° On couvre le bon œil ; l'œil strabique se redresse, et on évalue en millimètres l'étendue du déplacement de la cornée.

2° *Javal* a proposé de mesurer la déviation en degrés au moyen du périmètre. On place le malade de façon que l'œil strabique soit en face du point de fixation du périmètre. Il fixe ce point avec le bon œil. On promène une bougie le long de l'arc du périmètre, en visant dans la direction de cette bougie vers l'œil strabique. On cherche la position où l'image cornéenne se trouve au milieu de la pupille, ce qui indique approximativement la direction de la ligne visuelle de l'œil strabique. Dans l'arc kératoscopique de *de Wecker*, la bougie est remplacée par une mire blanche et au point de fixation se trouve un petit miroir dans lequel se réfléchit un objet éloigné qui sert comme point de fixation.

3° S'il y a de la diplopie, on peut employer la distance des deux images comme mesure du strabisme. On peut mesurer cette distance avec le

prisme de *Crétès*, ou en projetant les images sur un mur muni d'une division en degrés (*Hirschberg*, *Landolt*) ou sur l'échelle de *Prentice*.

L'angle de déviation varie souvent beaucoup avec la distance de l'objet fixé. Aussi peut-il être utile de déterminer l'angle à des distances différentes, à 4 mètres et à 25 centimètres par exemple, ainsi que *Schiœtz* l'a proposé.

136. L'étiologie du strabisme concomitant est une question assez complexe et sur laquelle les opinions sont encore divisées. *Bœhm* a découvert la relation qui existe entre l'hypermétropie et le strabisme convergent, et *Donders* a d'une manière générale fait ressortir le rôle que jouent les anomalies de la réfraction dans l'étiologie du strabisme. Cette influence ne peut être niée et elle est surtout frappante pour le strabisme convergent. Dans ma grande statistique de jeunes conscrits (v. p. 80) il y avait 42 cas de strabisme convergent dont 31 hypermétropes, 7 emmétropes et 4 myopes, c'est-à-dire qu'environ 70 p. 100 des personnes louchant en dedans étaient hypermétropes. Mais, d'autre part, il y avait en tout 301 hypermétropes (de deux dioptries et plus) ; ce n'est donc qu'une toute petite minorité des hypermétropes qui louchent.

La manière dont *Donders* a expliqué la relation entre le strabisme convergent et l'hypermétropie est bien connue. Lorsqu'un emmétrope fixe un objet voisin, c'est avant tout le besoin de voir simple qui règle la position de ses yeux. Mais, si l'on couvre l'un des yeux, ce besoin n'existe plus, et néanmoins l'observé continue en général à converger vers le point fixé ; cela tient au lien qui existe entre l'accommodation et la convergence. Même si l'observé est assez myope pour qu'il n'ait pas besoin d'accommoder pour l'objet, l'œil couvert converge néanmoins assez exactement pour l'objet. Cela tient à ce que *Hansen-Grut* désigne sous le nom de *sensation de la distance ;* sachant que l'objet se trouve à petite distance, le malade converge parce qu'il a l'habitude de le faire dans l'intérêt de la vision binoculaire, même dans les cas où cet intérêt n'existe pas.

Ces trois facteurs règlent le degré de la convergence à employer. Dans les circonstances ordinaires, c'est le premier facteur qui l'emporte de beaucoup ; mais, dans les cas d'hypermétropie, il peut arriver que, pour soutenir son accommodation, le malade converge plus qu'il ne faut pour la fusion. Il sacrifie alors sa vision binoculaire pour obtenir la vision nette avec un seul œil, et cela arrive surtout facilement lorsque la vision de l'autre œil est diminuée pour une raison ou pour une autre (taies de la cornée, astigmatisme, etc.). Dans un certain nombre de cas, on trouve la vision fortement diminuée sans aucune raison palpable. On

ne peut pas dire encore si cette diminution est une conséquence du strabisme (*amblyopie par défaut d'usage*) ou si elle n'est pas plutôt une cause du strabisme, due à une anomalie congénitale.

Si l'on explique ainsi qu'un hypermétrope puisse devenir strabique, on ne comprend pas bien pourquoi l'immense majorité des hypermétropes ne louchent pas. Ils semblent souvent avoir tout autant de raisons pour loucher que les strabiques. *Javal* admet que le strabisme s'est développé sous l'influence d'une parésie de l'accommodation qui s'est guérie plus tard. L'existence d'une telle parésie est assurément hypothétique, mais elle expliquerait très bien l'origine du strabisme ; les parents des petits strabiques accusent assez souvent des convulsions, des vers intestinaux, qui auraient pu produire des troubles nerveux, etc. Suivant *de Wecker*, un certain nombre de cas de strabisme convergent seraient dus à une paralysie d'un des droits externes, survenue pendant l'enfance. Le strabisme paralytique se transformerait plus tard en strabisme concomitant.

La myopie joue, dans la production du strabisme divergent, un rôle moins important que l'hypermétropie dans la production du strabisme convergent. Le myope n'accommodant pas ou peu pour des objets voisins, l'un des facteurs qui soutiennent la convergence fait défaut. Si les yeux sont très inégaux, il survient ainsi facilement un strabisme divergent relatif aux objets voisins. D'autre part, la vision au loin est si diffuse pour l'œil le moins bon, que la vision binoculaire ne présente qu'une utilité assez faible, et cet œil dévie alors facilement en dehors. En général, tout œil dont la vision est abolie ou fortement diminuée a une tendance à dévier en dehors. — Dans des cas assez rares, on rencontre chez des myopes une forme spéciale de strabisme convergent.

Les idées sur la nature du strabisme sont très divisées. La plupart des auteurs cherchent la cause du strabisme dans les muscles, ainsi *v. Graefe* (« excès de contraction moyenne »), *Schweigger* (« excès d'élasticité des muscles »), etc. D'autres, comme *Alfred Graefe* et *Javal*, attribuent le strabisme périodique et la partie variable du strabisme permanent à l'innervation, tandis qu'ils admettent que la partie fixe est due à des altérations musculaires consécutives. Les théories qui attribuent l'immense majorité des cas de strabisme à un défaut d'innervation, commencent à gagner du terrain. Elles ont été soutenues par *Stellwag*, *Ræhlmann*, *Hansen-Grut* et *Parinaud*. La théorie de *Hansen-Grut* me semble s'adapter le mieux aux phénomènes.

D'après cet auteur, toute théorie musculaire tombe devant l'observation suivante. Figurons-nous un strabisme convergent gauche de 6 millimètres : si ce strabisme avait une origine musculaire, il faudrait que la

limite d'excursion en dehors de l'œil gauche fût déplacée en dedans de 6 millimètres. Mais on ne trouve jamais rien de pareil. Si la limite est quelquefois déplacée un peu en dedans, cela tient à un défaut d'habitude, puisqu'on n'a jamais l'occasion de faire exécuter à l'œil strabique une excursion aussi forte.

Hansen-Grut distingue entre la *position d'équilibre anatomique* et la *position d'équilibre fonctionnel* des yeux. La première est la position que les yeux prennent en dehors de toute influence nerveuse. Lorsque les yeux sont dans cette position (pendant le sommeil, après la mort, etc.), les lignes visuelles divergent chez presque tous les sujets. La position d'équilibre *fonctionnel* est la position que prennent les yeux lorsqu'on regarde un objet éloigné en couvrant un œil. Dans cette position, les lignes visuelles sont parallèles chez les personnes normales. Le strabisme convergent tient à ce qu'il s'est développé une position d'équilibre fonctionnel inusitée, le strabisme divergent au contraire à ce qu'une telle position ne s'est pas développée du tout, de sorte que les yeux se placent dans la position d'équilibre anatomique.

137. Vision des strabiques. — Excepté dans les cas de *strabisme convergent des myopes*, les strabiques ne se plaignent en général pas de diplopie ; ils neutralisent l'image de l'œil dévié, de sorte que l'œil strabique ne sert qu'à augmenter un peu le champ visuel. On peut pourtant toujours provoquer la diplopie, en tenant un verre rouge devant le bon œil, en tenant cet œil fermé pendant quelques jours, etc., mais on rencontre alors souvent le phénomène singulier qu'on désigne sous le nom de *diplopie paradoxale*. Cette diplopie a été découverte par *v. Graefe*. Examinant des personnes atteintes de strabisme convergent, auxquelles il avait fait une ténotomie qui corrigeait *en partie* le défaut, il trouvait de la diplopie croisée, bien que les lignes visuelles fussent encore convergentes et que les malades, suivant la règle ordinaire, eussent dû annoncer de la diplopie homonyme. *Javal* a le premier étudié ce phénomène sur des sujets non opérés. L'explication de ce fait est qu'il s'est développé ce qu'on a très improprement nommé une *fovea* vicariante. Le malade a d'abord pris l'habitude de neutraliser l'image de l'œil strabique ; ensuite, il s'est formé peu à peu une notion de la fausse position de l'œil strabique ; il a appris qu'un objet qui forme son image sur la *fovea* du bon œil forme son image en un point (*b*) en dedans de la *fovea* de l'œil strabique, et il a appris à localiser cette image à l'endroit où est l'objet auquel elle appartient. Si l'on place un prisme l'arête en bas devant le bon œil, le malade dit quelquefois ne voir que l'image de cet œil, mais le plus souvent on arrive à faire voir aussi l'image de l'œil

strabique; les malades la localisent à peu près sur la même verticale que l'image du bon œil, au lieu d'accuser des images homonymes très séparées. C'est donc comme s'il s'était développé une correspondance entre le point *b* et la *fovea* du bon œil. Mais la localisation de l'image est toujours très peu sûre; le malade dit quelquefois qu'il voit bien deux images, mais qu'il lui est impossible de dire où est l'image de l'œil strabique.

Si l'on fait une ténotomie qui ne corrige pas complètement la déviation, l'image du point fixé ne se forme plus ni sur la vraie *fovea*, ni sur la *fovea* vicariante, mais entre les deux. Les malades projettent d'abord l'image d'après la *fovea* vicariante : comme elle se forme sur une partie de la rétine située en dehors de celle-ci, le malade voit l'objet en images croisées. Plus tard, surtout si l'on fait des exercices méthodiques pour y arriver, la véritable *fovea* vient exercer son influence prépondérante : le malade voit l'objet en images homonymes. En suivant le développement du changement de la vision du malade, on réussit quelquefois à constater une époque où le malade projette l'image de l'œil strabique d'après les deux foveas à la fois : il voit avec l'œil strabique à la fois une image à droite et une autre à gauche de l'objet. Cette singulière forme de la vision a été décrite par *Javal* sous le nom de *triplopie binoculaire*. J'ai eu l'occasion d'étudier un cas de ce genre.

138. Traitement du strabisme. — Si l'on se borne au traitement opératoire, il est prudent de ne pas corriger complètement le strabisme convergent, car l'œil strabique a une tendance à se mettre en divergence, tendance qui suffit quelquefois à elle seule pour faire disparaître à la longue le strabisme convergent. Au contraire, quand on a l'intention de rétablir la vision binoculaire, il faut tâcher de rendre la position des yeux aussi correcte que possible. Ce rétablissement est souvent une affaire très longue et très difficile ; la tâche est moins ardue dans les cas où il existe encore de la vision binoculaire dans une partie du champ, et, dans certains cas, tels que le strabisme divergent périodique et le strabisme convergent des myopes, on arrive au but avec quelques exercices, ou même par le simple traitement opératoire. Suivant *Javal*, qui s'est surtout occupé de cette question, la marche du traitement est la suivante.

a. Rétablissement de la diplopie et, s'il est possible, de *la vision de l'œil strabique*. On tient le bon œil couvert au moyen d'une louchette non percée; si la vision de l'autre œil est trop mauvaise, pour moins tourmenter le malade, on lui permet de porter la louchette sur le mauvais œil pendant quelques heures de la journée; mais il ne faut, pendant cette période du traitement, jamais laisser les deux yeux à

découvert à la fois, sous peine de ne jamais voir la neutralisation disparaître ou de voir augmenter le strabisme, car la diplopie gêne d'autant moins que les images sont plus éloignées l'une de l'autre, de sorte que le malade se met à loucher plus fortement pour écarter les images.

b. Rétablissement de la position approximativement correcte des yeux par voie opératoire.

c. Exercices stéréoscopiques. — On commence par placer dans chaque champ, sur chaque ligne visuelle, une tache ronde. Si le malade les fusionne, on les rapproche ou on les éloigne un peu pour développer chez lui le besoin de voir simple. Le stéréoscope de *Javal*, une imitation de celui de *Wheatstone* (fig. 189), mais à angle variable entre les miroirs, se prête très bien à cet exercice. Aussitôt que le malade voit double, on recommence. Quand le malade a réussi, on lui fait fusionner des lettres en lui donnant des caractères de plus en plus petits. Pour toutes ces épreuves, il faut à chaque figure ajouter de nombreuses petites marques, différentes pour chaque œil, afin de s'assurer que le malade fusionne réellement. Il doit voir la figure avec les deux séries de marques ; autrement, il neutralise l'une des figures au lieu de fusionner les deux. — En commençant ces exercices, on rencontre souvent le phénomène que *v. Graefe* désignait sous le nom d'*antipathie contre la vision simple*. Quand on place les ronds aux endroits correspondants aux lignes visuelles, le malade converge ou diverge pour ne pas les fusionner ; si l'on essaie dans cette nouvelle position des yeux, il fait varier de nouveau sa convergence, et ainsi de suite. *Javal* a imaginé un carton très ingénieux pour surmonter cette difficulté, qui est souvent très grande.

d. Exercices sans stéréoscope. — Il existe souvent une partie du champ où le malade voit simple ; alors on lui fait faire des exercices pour étendre cette partie, par exemple en plaçant une bougie dans la partie du champ où le malade fusionne et en l'amenant vers l'autre partie ; dès que le malade voit double, on recommence.

e. Si le malade réussit ces différentes épreuves, on commence à lui faire faire de la *lecture contrôlée*. On interpose un crayon entre les yeux et le livre ; la lecture ne peut alors avoir lieu sans interruptions qu'en faisant usage des deux yeux. Cet exercice doit être continué pendant des mois. Ce n'est que très longtemps après le rétablissement de la vision binoculaire que le malade peut voir le relief.

Bibliographie. — Boehm. *Das Schielen*. Berlin, 1845. — v. Graefe (A.). *Ueber Doppeltsehen nach Schieloperationen und Incongruenz der Netzhaüte. Arch. f. Ophth.*

I, 1, p. 82. — v. Graefe (A.). *Ueber eigenthümliche zur Zeit noch unerklärliche Anomalien in der Projection der Netzhautbilder. Arch. f. Ophth.*, II, 1, p. 284. — v. Graefe (A.). *Symptomenlehre der Augenmuskellähmungen.* Berlin, 1867. — Donders (F. C.). *Anomalies of the refraction and accommodation of the eye.* London, 1864. — Hansen-Grut (E.). *Patgogeny of concomitant squinting* (Bowman lecture). *Transactions of the ophthalmological Society of the united kingdom,* vol. X, 1890. — Javal (E.). *Manuel du strabisme.* Paris, Masson, 1896.

CHAPITRE XXV

ILLUSIONS D'OPTIQUE

139. — On désigne sous ce nom les cas où les impressions visuelles donnent lieu à un jugement faux sur la nature de l'objet. Les dessins, les peintures, et, en général, toutes les représentations d'un objet, ont pour but de produire de ces illusions; et tous les instruments d'optique agissent d'une manière analogue. Dans ce qui précède, j'ai déjà plusieurs fois mentionné des illusions d'une nature plus spéciale; j'en décrirai brièvement ici quelques autres, dont l'explication, dans la plupart des cas, est assez obscure.

a. Une première série d'illusions se base sur le fait qu'une ligne ou un espace semblent plus grands lorsqu'ils sont divisés que lorsqu'ils

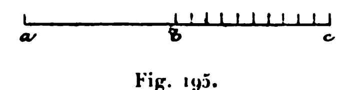


Fig. 195.

ne le sont pas. C'est ainsi que les deux parties *ab* et *bc* de la ligne (fig. 195) ont la même longueur, mais que la partie *bc* paraît plus longue,

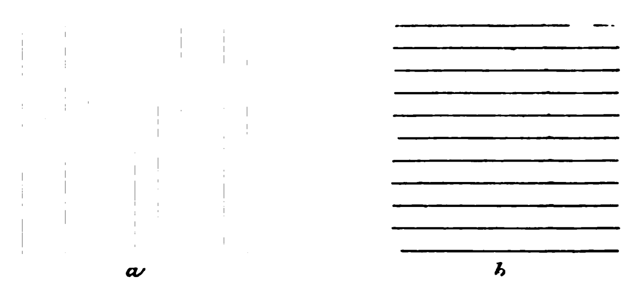


Fig. 196.

parce qu'elle porte des divisions. Les deux dessins de la figure 196 sont des carrés, mais la figure *a* semble plus large et la figure *b* plus haute,

à cause des divisions. Pour la même raison, une pièce remplie de meubles paraît plus grande que lorsqu'elle est vide.

b. Des angles très petits sont jugés plus grands qu'ils ne sont en réalité. Les illusions suivantes peuvent être considérées comme les exemples de cette règle. Les lignes *ab* et *cd* de la figure 197 sont situées dans le prolongement l'une de l'autre, mais *cd* semble déplacée vers le haut. L'illusion augmente si l'on éloigne la figure. On conçoit que si l'on juge l'angle aigu trop grand, la ligne *cd* doit sembler avoir subi une rotation autour du point *c*, la ligne *ab* autour du point *b*, ce qui doit produire l'illusion en question.

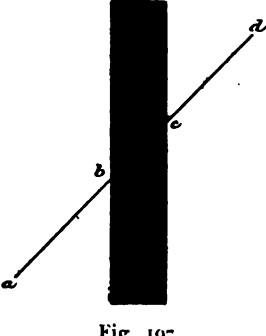


Fig. 197.

La même erreur de jugement semble agir dans les illusions produites par les dessins de la figure 198 (*Hering*) et de la figure 199 (*Zoellner*).

Dans la figure 198, les longues lignes sont droites et parallèles, mais semblent courbes : dans la partie supérieure de la figure, elles paraissent tourner les concavités l'une vers l'autre ; dans la partie inférieure, c'est le contraire. Dans la figure de *Zoellner*, les longues lignes droites qui

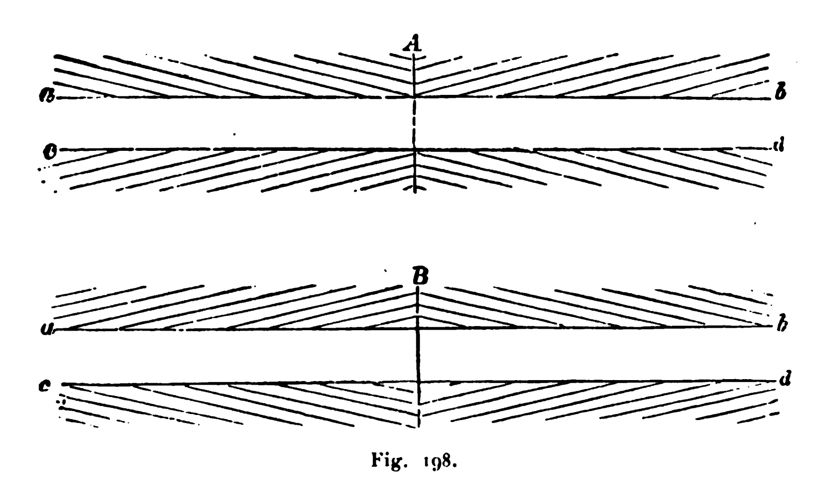


Fig. 198.

sont parallèles semblent converger ou diverger vers le haut, suivant la direction des petites lignes obliques. On conçoit que ces illusions doivent se produire si le jugement attribue une grandeur exagérée aux angles aigus. Suivant *v. Helmholtz*, les mouvements du regard jouent un grand rôle dans la production de ces illusions ; elles paraissent bien moins prononcées si l'on maintient le regard immobile. Si l'on promène une pointe lentement de droite à gauche devant la figure de *Zoellner*,

tout en la fixant avec le regard, les lignes semblent se mouvoir ; celles qui paraissent incliner leur extrémité supérieure à droite semblent monter, tandis que les autres semblent descendre, et l'inclinaison paraît en même temps plus prononcée. Si l'on promène la pointe de gauche à



Fig. 199.

droite, les lignes affectent le mouvement inverse. L'expérience n'est pas très facile à exécuter, mais on peut obtenir plus facilement le même

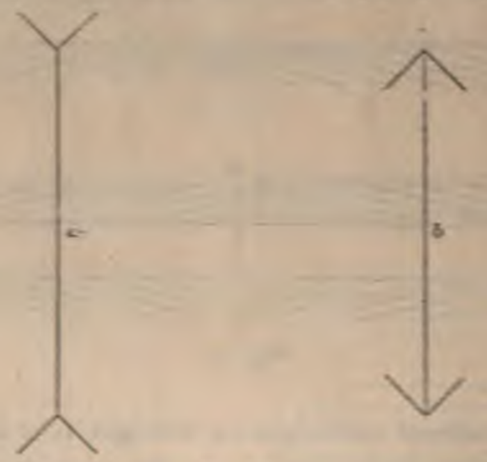


Fig. 200.

effet en maintenant la pointe qu'on fixe immobile et en déplaçant le dessin.

c. Les deux longues lignes droites de la figure 200 sont de même longueur, mais *b* paraît plus petite que *a*.

d. On juge souvent des cylindres trop larges. Si l'on place une grosse bouteille sur une feuille de papier et que l'on en trace la circonférence, on a souvent de la peine à se figurer, après avoir enlevé la bouteille, qu'on ne s'est pas trompé, tant le cercle paraît petit. Une autre erreur de jugement est bien connue : on présente un chapeau haute forme à quelqu'un, en le priant d'indiquer sur le mur sa hauteur à partir du sol. En général, on indique la hauteur moitié trop grande.

e. J'ai déjà mentionné le renversement du relief que l'on observe lorsqu'on change de côté les images stéréoscopiques et qui est connu sous le nom de *pseudoscopie*. On observe quelquefois le même phénomène dans d'autres circonstances. Si, par exemple, on fixe avec un œil la partie postérieure du bord supérieur d'un verre de lampe, on obtient assez facilement l'illusion que cette partie est en avant, et le verre semble en même temps pencher vers l'observateur. — En observant avec un œil le moule d'une médaille, il peut être difficile de dire si la figure est en creux ou en relief.

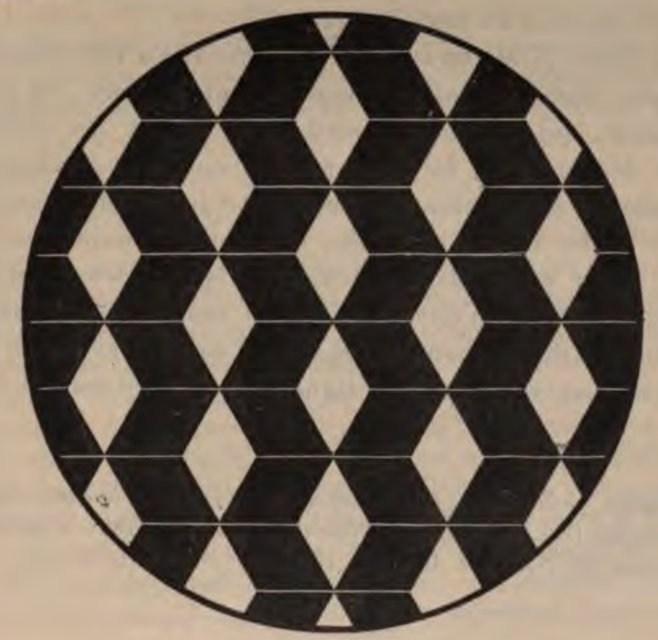


Fig. 201.

Des phénomènes analogues se présentent souvent dans le cas où un dessin peut être interprété de deux manières différentes. La figure 201 semble ainsi composée de cubes dont le côté éclairé semble tourné tantôt à droite, tantôt à gauche. Lorsqu'une interprétation a dominé pendant un certain temps, l'autre se présente tout d'un coup. On peut provoquer le changement en se figurant vivement le relief contraire.

f. Mentionnons enfin les illusions de mouvements des objets extérieurs, qui se présentent souvent à la suite d'un jugement faux sur les mouvements que nous exécutons nous-mêmes. Un des exemples les plus connus est celui des mouvements apparents des objets quand on voyage en chemin de fer : le voyageur ne tient pas complètement compte de son propre déplacement et attribue le mouvement aux objets extérieurs. L'illusion inverse se présente souvent lorsqu'on est arrêté le long d'un autre train ; si celui-ci se met en mouvement, on attribue souvent le mouvement au train dans lequel on se trouve. Les valseurs voient les objets extérieurs tourner autour d'eux dans le sens inverse de leur propre rotation. Le mouvement semble continuer quelque temps après l'arrêt, à cause de la persistance des mouvements saccadés des yeux (p. 278).

En général, les objets extérieurs ne paraissent pas se déplacer pendant les mouvements du regard, mais si l'on porte le regard vivement de l'une des limites du champ à l'autre, les objets extérieurs semblent se mouvoir en sens inverse.

Aubert a décrit l'illusion suivante, qui est due à une raison analogue. Dans le volet d'une chambre complètement obscure, on pratique une fente verticale, qui est alors le seul objet visible. En inclinant la tête vers l'une des épaules, la fente semble subir une rotation en sens inverse ; elle ne paraît plus verticale. On a jugé l'inclinaison de la tête plus faible qu'on ne l'a exécutée, à peu près comme les excursions qu'on fait subir aux yeux, en tenant les paupières closes, semblent toujours plus faibles qu'elles ne sont en réalité. L'expérience réussit aussi en dehors de la chambre obscure, surtout si l'on s'arrange de manière à ne pas voir d'autres lignes dont on connaisse la direction verticale.

Bibliographie. — Zoellner. *Ueber eine neue Art von Pseudoscopie. Pogg. Ann.* CX, p. 500. — Hering (E.). *Beitraege zur Physiologie.* Leipzig, 1861, I, p. 65. — Aubert, (H.). *Physiologie der Netzhaut.* Breslau, 1865.

TRAITÉS A CONSULTER

Œuvres ophtalmologiques de TH. YOUNG, traduites et annotées par M. TSCHERNING. Copenhague, Hoest, 1894. Les mémoires de *Young* ont été publiés au commencement du siècle dans les *Transactions de la Société Royale de Londres* et réimprimés dans ses *Lectures* (London, 1807). Une réimpression ultérieure dans *Peacock Works of Th. Young*, London, 1855, n'est pas à recommander, la reproduction des jolies figures de *Young* y étant assez défectueuse. Les travaux de *Young* sont souvent d'une lecture très difficile, mais beaucoup des idées modernes sur la dioptrique oculaire et sur la vision des couleurs datent de lui. A cause de la grande importance des œuvres de *Young*, j'en ai publié une édition française que j'ai essayé de rendre plus facilement lisible par des notes explicatives.

v. HELMHOLTZ (H.) *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig, 1867. Cette œuvre monumentale est indispensable à tous ceux qui désirent faire des études approfondies de l'optique physiologique, mais elle n'est pas d'une étude très facile. Le livre contient à peu près tout ce qu'on savait sur l'optique physiologique au moment de son apparition et une bibliographie complète. En 1885, l'auteur en a commencé une nouvelle édition (Leop. Voss, Hamburg), qui a été continuée après sa mort par A. KŒNIG. Elle diffère de la première par un certain nombre d'intercalations, qui du reste ne sont pas d'une importance très grande, si l'on excepte celles de la deuxième partie, qui contiennent les résultats des travaux sur la vision des couleurs de *Kœnig*, *Dieterici, Brodhun*, *Uththoff*, etc. Le dernier fascicule contient, de la main de *Kœnig*, une bibliographie complète, qui sera très utile aux chercheurs de l'avenir. — Le livre de v. HELMHOLTZ a été traduit en français par E. JAVAL et N.-TH. KLEIN (Masson, 1867), mais cette traduction est épuisée. — La lecture de l'optique physiologique ne doit du reste pas dispenser de lire les mémoires originaux de ce grand savant.

HERMANN (L.). *Handbuch der Physiologie der Sinnesorgane*, 2 vol. Leipzig, 1879. La partie qui concerne la vision a été traitée par FICK (A.) *(Dioptrique)*, KUEHNE *(Chimie de la rétine)* et HERING (E.) (*Mouvement des yeux, vision binoculaire*).

Ouvrages moins considérables et d'une lecture plus facile :

FICK (A.). *Lehrbuch der Anatomie u. Physiologie der Sinnesorgane*. Lahr, 1864.

KAISER (H.). *Compendium der physiologischen Optik*. Wiesbaden, 1872. A part

quelques parties que l'auteur a traitées d'une manière originale, c'est un extrait de v. HELMHOLTZ.

AUBERT (H.). *Physiologische Optik*, dans *Handbuch der gesammten Augenheilkunde* von A. GRAEFE u. TH. SAEMISCH. Leipzig, 1876. La partie la plus originale est un extrait de :

AUBERT (H.). *Physiologie der Netzhaut*. Breslau, 1865, livre qui contient un grand nombre de recherches très soignées sur les fonctions rétiniennes.

LE CONTE (JOSEPH). *Sight*. London, 1881. Malgré quelques erreurs, très instructif à cause de son originalité.

De l'époque qui précède v. HELMHOLTZ, date MACKENZIE (W.) *The physiology of vision*. London, 1841, se basant surtout sur les travaux de YOUNG et de WHEATSTONE.

Ce qu'on savait sur l'optique physiologique au siècle dernier se trouve réuni dans :

POTERFIELD (WILLIAM). *A treatise on the eye*. 2 vol. Edinburg, 1759, et dans :

JURIN (JACQUES). *Essai sur la vision distincte et indistincte* dans le grand traité d'optique de ROBERT SMITH (*A complet system of opticks*). London, 1738. En français *Cours complet d'optique* de ROBERT SMITH, traduit par PEZÉNAS. Paris, 1767.

Le travail de JURIN sur la vision indistincte est encore ce qu'il y a de mieux sur cette question un peu négligée.

A citer parmi les traités concernant des parties plus ou moins grandes de l'optique physiologique :

DONDERS (F.-C.). *On the anomalies of accommodation and refraction of the eye*. London, 1864. En allemand par O. BECKER. Wien, 1866. En français par E. JAVAL. dans DE WECKER. *Traité des maladies des yeux*. Paris, 1866. A cause de sa clarté remarquable DONDERS est d'une lecture très facile et peut être recommandé à tout jeune médecin qui désire s'initier dans cette branche de l'ophtalmologie.

Le même sujet a été traité dans :

NAGEL (A.). *Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges* dans *Graefe u. Saemisch. Handbuch der Augenheilkunde*. Leipzig, 1880.

LANDOLT (E.), dans de WECKER et LANDOLT. *Traité complet d'ophtalmologie*, 1884.

MAUTHNER (L.). *Vorlesungen ueber die optischen Fehler des Auges*. Wien, 1876.

MAUTHNER (L.). *Farbenlehre*. 2e édit. Wiesbaden, 1894. Les livres de Mauthner sont écrits dans un style très clair et portent l'empreinte de sa grande érudition.

Mémoires d'ophtalmométrie, annotés et précédés d'une introduction par E. JAVAL. Paris, Masson, 1890. Contient un grand nombre de mémoires d'ophtalmométrie de différents auteurs.

E. JAVAL. *Manuel de strabisme*. Paris, Masson, 1896. Important pour l'étude de la vision binoculaire.

TABLE DES MATIERES

LIVRE PREMIER

DIOPTRIQUE OCULAIRE

CHAPITRE PREMIER

NOTIONS D'OPTIQUE

CHAPITRE II

LE SYSTÈME OPTIQUE DE L'ŒIL

CHAPITRE III

LES FAUSSES IMAGES DE L'ŒIL

CHAPITRE IV

OPHTALMOMÉTRIE

CHAPITRE V

CERCLES DE DIFFUSION SUR LA RÉTINE

CHAPITRE VI

ANOMALIES DE RÉFRACTION

CHAPITRE VII

ABERRATION DE SPHÉRICITÉ

CHAPITRE VIII

ABERRATION CHROMATIQUE

CHAPITRE IX

ASTIGMATISME RÉGULIER

CHAPITRE X

ASTIGMATISME IRRÉGULIER

CHAPITRE XI

PHÉNOMÈNES ENTOPTIQUES

CHAPITRE XII

L'ACCOMMODATION

CHAPITRE XIII

OPHTALMOSCOPIE

CHAPITRE XIV

LA PUPILLE

LIVRE II

FONCTIONS DE LA RÉTINE

CHAPITRE XV

CHANGEMENTS QUE SUBIT LA RÉTINE SOUS L'INFLUENCE DE LA LUMIÈRE

CHAPITRE XVI

LE SENS LUMINEUX

CHAPITRE XVII

LE SENS CHROMATIQUE

CHAPITRE XVIII

LE SENS DE FORMES

LIVRE III

LES MOUVEMENTS OCULAIRES ET LA VISION BINOCULAIRE

CHAPITRE XIX

LA LOI DE LISTING

CHAPITRE XX

LES MOUVEMENTS OCULAIRES

CHAPITRE XXI

LA PROJECTION DES IMPRESSIONS VISUELLES EN DEHORS

CHAPITRE XXII

PERCEPTION MONOCULAIRE DE LA PROFONDEUR

CHAPITRE XXIII

PERCEPTION BINOCULAIRE DE LA PROFONDEUR

CHAPITRE XXIV

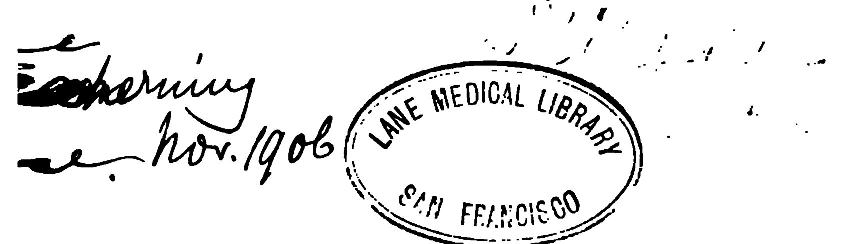
LE STRABISME

CHAPITRE XXV

ILLUSIONS D'OPTIQUE

TABLE DES AUTEURS

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY



TIQUE PHYSIOLOGIQUE

DIOPTRIQUE OCULAIRE — FONCTIONS LA RÉTINE — LES MOUVEMENTS OCULAIRES ET LA VISION BINOCULAIRE

LEÇONS PROFESSÉES A LA SORBONNE

PAR

LE Dr TSCHERNING

DIRECTEUR-ADJOINT DU LABORATOIRE D'OPHTALMOLOGIE



PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

—

1898

va signé
Prof. Tscherning
Sorbonne. Nov. 1906

OPTIQUE PHYSIOLOGIQUE

DIOPTRIQUE OCULAIRE — FONCTIONS
DE LA RÉTINE — LES MOUVEMENTS OCULAIRES
ET LA VISION BINOCULAIRE

LEÇONS PROFESSÉES A LA SORBONNE

PAR

LE Dr TSCHERNING

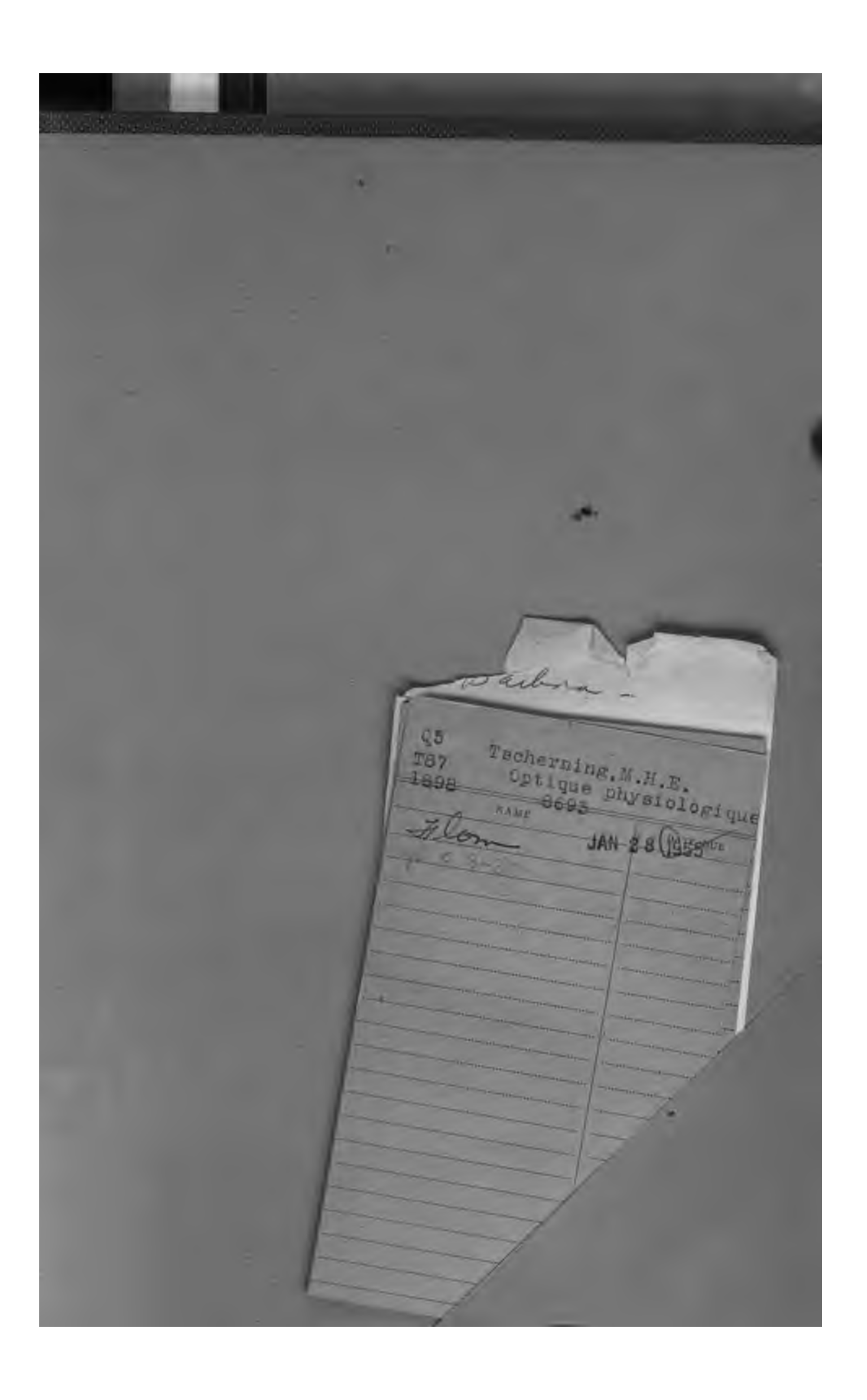
DIRECTEUR-ADJOINT DU LABORATOIRE D'OPHTALMOLOGIE



PARIS
GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS
3, RUE RACINE, 3

1898




Q5
T87
1898
Tscherning, M.H.E.
Optique physiologique
8693
NAME
JAN 28 1955

